

TRAITÉ
DE
MÉCANIQUE DES SOLS

PAR

A. CAQUOT

Membre de l'Académie des Sciences

ET

J. KERISEL

Professeur à l'École Nationale
des Ponts et Chaussées

4^e Édition

gv

PARIS
GAUTHIER-VILLARS, ÉDITEUR

1966

TABLE DES MATIÈRES.

	Pages.
INTRODUCTION.....	V
SYMBOLES	VII

TITRE I.

Propriétés physiques des sols.

CHAPITRE I.

ÉLÉMENT SOLIDE.

1. <i>Données de la Géologie</i>	2
2. <i>Données de la Pédologie</i>	3
3. <i>Données de la Minéralogie</i>	4
4. <i>Données de la statistique dimensionnelle</i>	4
5. <i>Classification des sols d'après la granulométrie</i>	6
6. <i>Données de l'Optique</i>	9
7. <i>Données de la Cristallographie</i>	11
8. <i>Orientation et liaison des microagrégats dans une argile</i>	14
9. <i>Données de la Chimie</i>	18
10. <i>Résumé</i>	19
BIBLIOGRAPHIE.....	19

CHAPITRE II.

ÉLÉMENT LIQUIDE.

1. <i>Analyse thermodifférentielle : l'eau de constitution</i>	21
2. <i>Analyse thermopondérale</i>	22
3. <i>Teneur en eau</i>	23
A. Détermination expérimentale de la teneur en eau en laboratoire....	23
B. Détermination de la teneur en eau <i>in situ</i>	23
4. <i>Indice des vides et porosité</i>	25
A. Indice des vides.....	25
B. Porosité.....	25
C. Facteurs de variation de e et de n dans un milieu sédimentaire.....	26
D. Détermination expérimentale de e en laboratoire.....	26
E. Détermination de e <i>in situ</i>	28
F. Valeurs typiques de e et n	28
5. <i>Électrolytes et cations dans les sols</i>	30
A. Rôle des électrolytes contenus dans l'eau.....	30

	Pages.
B. Capacité d'échange de cations.....	31
C. Énergie avec laquelle les cations sont attachés sur les microagrégats d'argile.....	31
D. Accélération des échanges de cations avec la température.....	32
E. Réaction acide ou basique des sols.....	32
6. <i>Limites d'Atterberg</i>	32
A. Influence de la phase liquide sur l'état du sol.....	32
a. État fluide.....	32
b. État plastique.....	32
c. État solide avec retrait.....	33
d. État solide sans retrait.....	33
B. Détermination expérimentale de ces limites.....	33
C. Relation entre l'indice de plasticité et la limite de liquidité.....	35
7. <i>Portée des essais d'Atterberg</i>	36
8. <i>Limites d'Atterberg de mélanges de sols</i>	39
BIBLIOGRAPHIE.....	40

CHAPITRE III.

ÉLÉMENT GAZEUX.

1. <i>Élément gazeux</i>	41
2. <i>Relations physiques entre la phase gazeuse et les deux autres phases</i>	41
BIBLIOGRAPHIE.....	42

CHAPITRE IV.

LE COMPLEXE SOLIDE-LIQUIDE-GAZ

1. <i>Poids spécifiques</i>	44
2. <i>Perméabilité</i>	45
A. Mesure de la perméabilité en laboratoire.....	46
B. Mesure de la perméabilité <i>in situ</i>	48
a. Essai Dupuit.....	48
b. Essai ponctuel de perméabilité.....	50
c. Essai de chantier.....	52
C. Échelle des valeurs de k	52
D. Facteurs principaux influençant le coefficient de perméabilité.....	53
E. Variation de la perméabilité en fonction de la température.....	55
F. Variation de la perméabilité en fonction des cations échangeables.....	55
G. Perméabilité à l'air.....	55
3. <i>Capillarité</i>	55
A. Notions classiques.....	55
B. Dispositifs expérimentaux pour la mesure de h_c	59
a. Mesures <i>in situ</i> : tensiomètres.....	59
b. Mesures en laboratoire.....	60
C. Résultats.....	61
a. Variation de la succion capillaire avec la teneur en eau.....	61
b. Point de flétrissement.....	62
D. Distribution de l'eau dans un sol non recouvert : profils hydriques.....	62
E. Effet d'un revêtement de sol sur la teneur en eau de celui-ci.....	65
F. Capillarité et perméabilité.....	67

	Pages.
4. <i>Phénomènes thermiques dans les sols</i>	67
A. Abaissement de la température : gel du sol.....	67
B. Mécanisme du mouvement de l'eau dans les sols non saturés sous l'action d'un gradient de température.....	69
5. <i>Phénomènes électriques dans les sols</i>	70
A. Propagation de l'électricité dans les sols.....	70
B. Causes de la conductibilité des sols.....	70
C. Mesure de la résistivité <i>in situ</i>	71
D. Exploration électrique des sondages.....	73
E. Courants électriques naturels.....	74
F. Applications à la mesure de l'anisotropie.....	75
G. Passage de l'état anisotrope à l'état isotrope.....	76
H. Electroosmose.....	76
BIBLIOGRAPHIE.....	78

TITRE II.

Propriétés mécaniques du complexe liquide-solide-gaz.

CHAPITRE V.

RELATIONS ENTRE LES CONTRAINTES
ET LES DÉFORMATIONS DANS LES SOLS.

GÉNÉRALITÉS.....	80
1. <i>Solides élastiques. Rappel</i>	80
2. <i>Roches</i>	82
3. <i>Sols</i>	83
L'ŒDOMÈTRE.....	84
1. <i>Consolidation à l'œdomètre</i>	85
2. <i>Diagramme œdométrique</i>	89
A. Diagramme œdométrique des sables.....	91
a. Influence de la forme des grains.....	92
b. Réadaptation des structures.....	92
B. Diagramme œdométrique des argiles.....	93
a. Pression de consolidation.....	94
b. Indice de compression.....	95
c. Courbes de décompression.....	97
d. Courbes de recompression.....	97
e. Influence des cations.....	98
f. Influence sur la compressibilité œdométrique de la loi de croissance de la variation de la pression verticale en fonction du temps ..	98
g. Valeurs du coefficient de consolidation verticale C_v à l'œdomètre ..	99
3. <i>Essais in situ pour déterminer le degré de compressibilité des sols</i>	100
A. Dilatation d'une cavité cylindrique à axe vertical.....	101
B. Essai de plaque.....	103
4. <i>Appareil triaxial</i>	105
A. Mécanisme de la prise d'échantillon en milieu saturé.....	106
a. Carottage parfait.....	106
b. Prise réelle d'échantillon.....	107
B. Détermination du tenseur initial : coefficient K_0	107

	Pages.
C. Exemple de la détermination des modules E_v et E_h dans la consolidation d'un échantillon.....	108
D. Argiles surconsolidées.....	111
E. Dépendance avec le chemin parcouru.....	113
F. Coefficient de Poisson.....	114
G. Influence de la contrainte intermédiaire sur ε_1	114
5. Deux problèmes pratiques de consolidation primaire in situ.....	115
A. Détermination du tassement primaire total d'après le début de son évolution.....	115
B. Drains en sable verticaux.....	115
6. Consolidation secondaire.....	116
A. Mesure de η in situ.....	117
B. Modèles rhéologiques.....	119
7. Conclusions générales.....	119
BIBLIOGRAPHIE.....	119

CHAPITRE VI.

APPLICATION AU CALCUL DES TASSEMENTS DES FONDATIONS.

1. Cas du solide élastique semi-indéfini.....	121
A. Charge ponctuelle.....	121
B. Charge superficielle.....	123
C. Charge ponctuelle enterrée.....	127
2. Cas des sols.....	128
A. Généralités.....	128
B. Méthode de calcul des tassements.....	129
a. Prise en compte de la rigidité de la fondation.....	136
b. Exemple d'application.....	139
c. Charges triangulaires.....	143
C. Cas de plusieurs fondations.....	144
— Critique de la méthode.....	146
D. Tassement d'un groupe de pieux.....	147
E. Déplacements horizontaux.....	149
F. Évolution des tassements primaires à travers le temps.....	149
G. Tassements admissibles pour les superstructures.....	150
H. Caractère relatif des mesures de tassement.....	152
BIBLIOGRAPHIE.....	153

CHAPITRE VII.

HYDRODYNAMIQUE DES SOLS.

1. Détermination des lignes de courant.....	156
A. Solution mathématique dans un milieu homogène et isotrope.....	156
B. Solution graphique.....	161
a. Milieu de perméabilité horizontale différente de la perméabilité verticale.....	162
b. Milieux stratifiés superposés de perméabilités différentes.....	163
C. Méthode de l'analogie électrique.....	165
D. Modèles réduits.....	165

2. Étude des gradients critiques et des mesures à prendre pour éviter les phénomènes de renard.....	166
A. Étude expérimentale des gradients critiques dans les sables.....	166
a. Gradients verticaux.....	166
b. Gradients horizontaux.....	169
B. Filtres.....	171
C. Sables bouillants.....	174
3. Quelques résultats pratiques pour l'Ingénieur.....	176
A. Rideau indéfini de palplanches en milieu semi-indéfini homogène et isotrope.....	176
a. Pression de l'eau en pied de palplanche.....	176
b. Gradient de sortie.....	178
c. Pressions sur la palplanche dues à l'eau et au sol.....	178
d. Débit.....	178
B. Enceinte de palplanches en milieu perméable de profondeur limitée....	179
a. Parois planes parallèles indéfinies.....	179
b. Enceinte non indéfinie.....	180
α. Fouille ronde.....	180
β. Fouille carrée.....	180
C. Rencontre d'une couche imperméable par l'écran.....	181
D. Écoulement sous un radier.....	181
4. Pressions interstitielles dans les roches et dans les maçonneries.....	183
5. Mesures des pressions de l'eau dans un sol.....	185
A. Piézomètres.....	185
B. Capteurs.....	186
BIBLIOGRAPHIE.....	186

CHAPITRE VIII.

PHÉNOMÈNES VIBRATOIRES DANS LES SOLS.

1. Rappel.....	189
2. Vibrations de fondations supportant des machines vibrantes.....	192
A. Valeurs de K à prendre en compte pour les sols.....	192
B. Valeurs de C à prendre en compte pour les sols.....	194
3. Utilisation de la vibration pour enfoncer les pieux et palplanches.....	195
4. Compactage de surface par vibration.....	197
5. Compactage dans la masse par vibration : vibroflottation.....	198
6. Propagation des ondes dans le sol.....	199
7. Exploration sismique des sols.....	200
8. Tremblements de terre.....	201
A. Fréquence des ondes.....	201
B. Amplitudes maximales des accélérations.....	202
C. Amortissement des vibrations.....	203
D. Action sur les structures.....	204
E. Influence des conditions de fondation.....	205
F. Règlements.....	206
9. Dommages causés au voisinage par les impacts et les explosions.....	207
10. Protection contre les vibrations causées par le trafic.....	208
BIBLIOGRAPHIE.....	209

CHAPITRE IX.

ÉQUILIBRES LIMITES DANS LES SOLS.

	Pages.
1. <i>Caractère général des courbes intrinsèques des sols</i>	209
A. Milieu pulvérulent sec.....	210
a. Conditions d'équilibre.....	210
b. Rapport limite des contraintes principales.....	210
B. Milieu pulvérulent saturé : inexistence d'une courbe intrinsèque pour l'ensemble des deux phases.....	211
C. Milieu cohérent.....	213
2. <i>Signification de H. Théorème des états correspondants</i>	214
3. <i>Coexistence d'une zone plastique et d'une zone pseudoélastique</i>	215
4. <i>Équations générales des équilibres élastique, visco-élastique et visco-élastique linéaire</i>	216
A. Cas des problèmes à deux dimensions.....	217
B. Possibilité de résolution des équations.....	219
5. <i>Conditions générales du glissement en milieu solide</i>	219
A. Milieu isotrope.....	221
B. Milieu sensiblement isotrope.....	221
C. Milieu cohérent anisotrope.....	221
Tenseur d'anisotropie.....	222
6. <i>Calcul des ouvrages de mécanique des sols. Coefficient de sécurité</i>	223
7. <i>Mesures expérimentales des contraintes dans les sols</i>	223
BIBLIOGRAPHIE.....	226

CHAPITRE X.

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DES ÉQUILIBRES LIMITES
DANS LES MILIEUX PULVÉRULENTS.

1. <i>Glissement suivant un plan déterminé</i>	228
A. Boîtes de cisaillement par translation.....	228
B. Appareils de cisaillement par rotation.....	229
2. <i>Appareil à contraintes triaxiales</i>	230
A. Avantages et inconvénients comparés de cet appareil.....	230
B. Réalisation de l'appareil. Mesure des contraintes et déformations....	230
C. Dimensionnement de l'échantillon.....	231
D. Préparation de l'échantillon.....	231
E. Reconsolidation.....	232
F. Influence de la membrane.....	233
G. Mode opératoire : contraintes contrôlées ou déformations contrôlées....	233
H. Systèmes divers de contraintes appliquées.....	233
I. Mesure du changement de volume de l'échantillon.....	233
J. Répartition des contraintes dans le triaxial.....	233
K. Deux procédures : les essais drainés et les essais non drainés avec mesure de u	235
L. Calcul de φ . Représentation des essais drainés et non drainés.....	235
3. <i>Résultats généraux</i>	236
A. Indice des vides critique.....	237

	Pages.
B. Déformations relatives verticales.....	238
C. Existence d'un maximum pour $\frac{\sigma_1'}{\sigma_3}$ dans les milieux serrés.....	238
4. Courbe intrinsèque.....	239
A. Sable normalement consolidé.....	239
B. Sables naturels.....	240
C. Sables compactés et sables naturels surconsolidés.....	241
5. Relation entre φ et le frottement ψ de la roche mère.....	241
6. Influence de la teneur en eau.....	243
7. Résistance à la traction dans les sables.....	243
BIBLIOGRAPHIE.....	244

CHAPITRE XI.

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DES ÉQUILIBRES LIMITES
DANS LES MILIEUX COHÉRENTS.

1. Généralités.....	246
2. Essais in situ pour la détermination de C_u	247
A. Essais au scissomètre.....	247
a. Principe.....	247
b. Réalisation.....	249
c. Résultats expérimentaux.....	249
B. Essais de chargement de plaques en surface et en profondeur.....	250
a. Essais en surface.....	250
b. Essais en profondeur.....	250
3. Essais en laboratoire pour la détermination de C_u , C' et φ'	251
A. Essai de compression simple pour déterminer C_u	251
B. Essais au triaxial.....	252
a. Réalisation matérielle de la mesure de la pression interstitielle...	252
b. Reconsolidation.....	253
c. Vérification de la saturation totale de l'échantillon.....	253
d. Trois types d'essais :	
α . Essais non drainés sans mesure de u , pour la détermination de C_u	254
β . Essais non drainés avec mesure de u , pour la détermination de C' et φ'	257
γ . Essais drainés, pour la détermination de C' et φ'	258
4. Dégradation des propriétés mécaniques des argiles avec le développement des glissements.....	259
5. Valeurs de φ' et C'	259
6. Résistance à la traction des argiles.....	260
7. Argiles non saturées.....	260
BIBLIOGRAPHIE.....	261

CHAPITRE XII.

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DES PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DES ROCHES.

1. Généralités.....	262
2. Altérabilité.....	263

	Pages.
3. <i>Étude de la fissuration</i>	264
4. <i>Caractéristiques mécaniques mesurées en laboratoire</i>	266
A. Roches élastiques.....	268
B. Roches avec serrage.....	268
C. Roches à comportement plastique.....	270
5. Fluage en laboratoire.....	271
6. Anisotropie des roches.....	272
7. <i>Mesures in situ diverses plus particulières aux roches</i>	275
A. Mesures <i>in situ</i> du cisaillement limite.....	275
B. Détermination des contraintes préexistantes <i>in situ</i>	275
C. Mesures <i>in situ</i> du module de déformation des roches.....	277
8. <i>Conclusions</i>	278
BIBLIOGRAPHIE.....	279

CHAPITRE XIII.

PRÉLÈVEMENTS D'ÉCHANTILLONS.

1. <i>Généralités</i>	280
2. <i>Les deux facteurs de qualité caractérisant un carottier</i>	282
3. <i>Prélèvement des échantillons d'argile</i>	283
A. Valeurs maximales des facteurs de qualité.....	283
B. Utilisation de la carotte au laboratoire.....	284
C. Carottiers spéciaux à magasin pour emballage de longues carottes en terrain très homogène.....	285
4. <i>Prélèvement d'échantillons dans les sables</i>	285
5. <i>Prélèvement d'échantillons dans les roches</i>	286
BIBLIOGRAPHIE.....	287

TITRE III.

Traitement des sols.

CHAPITRE XIV.

AMÉLIORATION DES PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DES SOLS.

1. <i>Stabilisation par adjonction d'éléments correctifs</i>	289
2. <i>Compactage</i>	289
A. Compactage en laboratoire.....	289
B. Compactage sur chantier.....	293
a. Compactage par rouleau.....	293
b. Compactage par plaques vibrantes.....	294
c. Compactage par pilonnage.....	294
C. Comparaison des compactages obtenus au laboratoire et au chantier.....	294
D. Évolution du compactage dans le temps.....	296
3. <i>Stabilisation au ciment</i>	297
4. <i>Stabilisation au bitume</i>	298
5. <i>Stabilisation par polymères</i>	298

	Pages.
6. <i>Stabilisation par produits divers</i>	299
7. <i>Drainages</i>	299
A. Fossés ou drains horizontaux	299
B. Drains verticaux	299
C. Drainage forcé par pompage ou par succion	301
D. Drainage forcé par électroosmose	301
8. <i>Consolidation thermique</i>	301
9. <i>Injections</i>	302
BIBLIOGRAPHIE	305

TITRE IV.

Calcul des ouvrages.

CHAPITRE XV.

POUSSÉES ET BUTÉES.

1. <i>Rappel des relations entre les contraintes conjuguées ou perpendiculaires autour d'un point d'un milieu pulvérulent pour le cas de l'équilibre limite en élasticité plane</i>	308
A. Relation entre contraintes conjuguées	309
B. Relations concernant des contraintes orthogonales	310
2. <i>Définition de la poussée et de la butée</i>	311
3. <i>Théorie de Coulomb</i>	312
4. <i>Théorie de Rankine</i>	314
5. <i>Théorie de Boussinesq</i>	317
6. <i>Résultats généraux concernant la poussée et la butée, calculée par la théorie de Boussinesq</i>	320
A. Variations de K_a et K_p en fonction de δ	321
B. Variations de K_a et K_p avec β	322
C. Variations de K_a et K_p avec λ	323
D. Variations de K_a et K_p avec φ	324
E. Valeurs numériques	324
F. Confrontation avec l'expérience	326
7. <i>Problèmes communs aux butées et poussées : surcharges appliquées et massifs cohérents</i>	329
A. Surcharge uniforme appliquée à la surface libre	329
B. Sols superposés d'angle φ et de poids spécifique γ_a différents	333
8. <i>Massifs cohérents</i>	333
A. Fouilles verticales non coffrées	334
B. Fouilles verticales non coffrées excavées dans l'eau à la bentonite	335
9. <i>Action des surcharges localisées dans le cas $\beta = 0$, $\lambda = 0$</i>	337
10. <i>Murs à parement intérieur non rectiligne</i>	339
11. <i>Diverses particularités des murs de soutènement</i>	340
12. <i>Poids spécifiques à prendre en compte</i>	341
13. <i>Équilibre général d'un mur de soutènement</i>	342
BIBLIOGRAPHIE	343

CHAPITRE XVI.

FONDATIONS PEU PROFONDES.

	Pages.
1. <i>Généralités concernant le calcul des fondations</i>	345
2. <i>Fondations peu profondes (semelles, radiers) et fondations profondes (puits et pieux, piles, caissons)</i>	346
3. <i>Rappel des caractéristiques des fondations peu profondes</i>	347
A. Semelles	347
B. Radiers	348
4. <i>Calcul de la pression maximale en surface d'un milieu pulvérulent</i>	348
A. Obliquité nulle sous la base (membranes)	349
B. Obliquité $-\varphi$ sous la base (semelles filantes en béton)	351
C. Influence de la forme de la surface d'appui en profondeur	352
D. Cas d'une semelle isolée	353
E. Vérification expérimentale dans le cas $\varphi = 0$	353
5. <i>Augmentation de la pression maximale en fonction d'une surcharge uniforme extérieure à la fondation</i>	356
6. <i>Milieu cohérent</i>	358
A. Pression limite à court terme et à long terme	359
B. Vérification expérimentale dans le cas $\varphi = 0$	360
7. <i>Augmentation de la pression maximale avec la profondeur</i>	360
A. Milieu pulvérulent	360
B. Vérification expérimentale	361
C. Milieu cohérent	361
D. Interférence de plusieurs fondations superficielles	361
E. Calcul des semelles et radiers	362
8. <i>Sollicitations par contraintes obliques en surface ou à faible profondeur</i>	362
A. Coefficient de correction K_1 pour tenir compte d'une obliquité δ avec charge centrée	364
B. Coefficient de correction K_2 pour tenir compte d'un excentrement de la charge, en l'absence de toute obliquité	366
C. Efforts obliques sur roches	367
D. Efforts très obliques et presque tangentiels	367
BIBLIOGRAPHIE	369

CHAPITRE XVII.

FONDATIONS PROFONDES.

1. <i>Rappel des caractéristiques des fondations étroites et profondes</i>	372
A. Pieux	372
a. Pieux façonnés à l'avance	372
b. Pieux et puits exécutés en place	373
α . Pieux à tube battu, exécutés en place	373
1 ^o Pieux à tube récupéré	373
2 ^o Pieux à tube récupéré et à gaine intérieure perdue ..	373
3 ^o Pieux à tube perdu	373
β . Pieux forés	373
B. Puits, piles et caissons	374

C. Condition fondamentale à observer pour le havage des pieux et caissons.....	376
2. <i>Calcul de la force portante limite</i>	376
3. <i>Reconnaitances au moyen de pieux de petit diamètre</i>	377
4. <i>Expériences systématiques en milieu homogène</i>	380
A. Milieux sableux artificiels.....	380
a. Pression de pointe.....	383
α . Pieux foncés depuis la surface.....	383
1° Pression de poinçonnement à grande profondeur.....	383
2° Début de la pénétration.....	384
3° Cas de plusieurs couches superposées.....	385
β . Pieux moulés.....	385
b. Frottement latéral.....	386
c. Déformations volumiques dans le milieu.....	387
d. Mécanisme de la fondation profonde.....	388
α . Fondation peu profonde.....	388
β . Fondation plus profonde.....	388
γ . Fondation à grande profondeur.....	389
1° Milieux serrés.....	391
2° Milieux non serrés.....	392
3° Pression limite.....	392
B. Milieux sableux naturels.....	394
C. Milieux cohérents.....	394
a. Résistance de pointe.....	394
b. Frottement latéral.....	395
D. Terrains mixtes : sols en cours de consolidation reposant sur un sol dur : frottement négatif.....	396
5. <i>Force portante d'un groupe de pieux</i>	398
6. <i>Flambement des pieux</i>	401
7. <i>Battage des pieux</i>	401
8. <i>Essais de charge portante</i>	403
BIBLIOGRAPHIE.....	405

CHAPITRE XVIII.

OUVRAGES DANS LESQUELS S'EXERCENT SIMULTANÉMENT
DES BUTÉES ET POUSSÉES.

POSITION DU PROBLÈME.....	407
1. <i>Gros massifs enterrés</i>	408
A. Position du centre instantané de rotation. Réactions du sol.....	409
B. Effet d'échelle.....	410
C. Le moment de renversement limite augmente avec V pour H donné.....	411
D. Mode de calcul d'un massif large et profond enterré.....	411
a. Milieu pulvérulent.....	411
b. Milieu cohérent.....	414
2. <i>Pieux sollicités horizontalement</i>	414
A. Essais de Baignolet.....	414
a. Sols.....	414
b. Pieux essayés.....	415
c. Profondeur d_1 du point de moment maximal.....	416

	Pages.
<i>d.</i> Grandeur du moment maximal.....	416
<i>e.</i> Déplacement du pieu.....	416
<i>f.</i> Valeur de la butée et de la contrebutée.....	417
B. Conclusion.....	417
3. <i>Rideaux de Palplanches</i>	417
A. Expérience de Rowe.....	418
B. Méthode de calcul.....	419
C. Coefficient de sécurité.....	419
D. La conception du tirant.....	419
E. Exemple numérique.....	420
4. <i>Gabions</i>	422
5. <i>Actions provoquées sur des structures fixes par des sols en mouvement</i>	427
A. Forces horizontales.....	427
B. Forces verticales.....	432
6. <i>Ancrages</i>	433
BIBLIOGRAPHIE.....	435

CHAPITRE XIX.

CHAUSSÉES ET PISTES.

1. <i>Chaussées et pistes souples</i>	437
2. <i>Chaussées et pistes rigides</i>	438
A. Méthode de Westergaard.....	438
B. Méthode de Burmister.....	440
BIBLIOGRAPHIE.....	442

CHAPITRE XX.

PUITS ET TUNNELS.

1. <i>Puits</i>	443
A. Équilibre cylindrique serré et équilibre distendu.....	443
B. Distribution des contraintes autour d'un puits foré.....	444
2. <i>Cavités souterraines à grand axe horizontal : tunnels</i>	445
A. Pression sur le revêtement d'un souterrain.....	445
B. Modes opératoires.....	446
C. Mouvements ultérieurs du sol.....	447
D. Équilibre limite sur une surface restreinte.....	447
E. Équilibre limite sur la surface extérieure du revêtement.....	450
F. Types de revêtement.....	450
<i>a.</i> Souterrain en terrain résistant.....	450
<i>b.</i> Souterrain en terrain à poussée.....	450
<i>c.</i> Souterrain circulaire.....	451
G. Flambement d'un revêtement mince.....	451
H. Conduites enterrées.....	452
I. Ouvrages d'art à flanc de coteau.....	452
J. Boulonnage.....	452

3. <i>Affaissements miniers</i>	453
A. <i>Forme des affaissements</i>	453
B. <i>Incidences sur les bâtiments et ouvrages d'art</i>	454
4. <i>Effet des explosions nucléaires souterraines</i>	455
A. <i>Explosions à grande profondeur</i>	455
B. <i>Explosions débouchant en surface</i>	456
5. <i>Silos</i>	457
A. <i>Matière pulvérulente incompressible au remplissage</i>	457
B. <i>Matière pulvérulente incompressible à la vidange</i>	459
C. <i>Faits expérimentaux</i> :.....	460
a. <i>Remplissage</i>	460
b. <i>Vidange</i>	462
D. <i>Influence de la compressibilité</i>	464
BIBLIOGRAPHIE.....	464

CHAPITRE XXI.

STABILITÉ DES PENTES
ET CALCUL DES BARRAGES EN TERRE.

1. <i>Stabilité des pentes</i>	466
A. <i>Morphologie</i>	467
a. <i>Le glissement a une allure générale circulaire</i>	467
b. <i>Les glissements peuvent se produire à long terme dans une formation très dure</i>	467
c. <i>Les glissements sont souvent associés à des pressions interstitielles croissantes</i>	468
d. <i>Les glissements peuvent intervenir même dans des zones très plates</i>	469
e. <i>Les glissements interviennent souvent successivement en chaîne</i> ...	469
B. <i>Cause des glissements</i>	469
a. <i>Modification du moment moteur par charge en tête ou décharge en pied</i>	469
b. <i>Modification de régime hydraulique</i>	469
c. <i>Altération des caractéristiques du sol au voisinage de la surface en pente</i>	470
d. <i>Diminution du cisaillement limite lorsqu'un déviateur s'exerce pendant un temps de plus en plus long</i>	470
C. <i>Mesures propres à arrêter un glissement</i>	470
D. <i>Méthode générale de calcul de la stabilité des pentes en milieu à frottement effectif constant</i>	471
E. <i>Méthode de calcul en terrains à couches multiples</i>	474
F. <i>Résultats généraux pour les terrains homogènes</i>	475
a. <i>Stabilité des massifs rocheux</i>	475
b. <i>Stabilité des massifs argileux saturés</i>	479
1° <i>Stabilité à long terme</i>	479
2° <i>Stabilité à court terme</i>	480
G. <i>Écoulement de l'eau dans les talus</i>	481
a. <i>Méthodes</i>	481
b. <i>Résultats</i>	481
c. <i>Pentes naturelles indéfinies avec écoulement d'eau parallèle à la surface</i>	482

	Pages.
3. <i>Affaissements miniers</i>	453
A. <i>Forme des affaissements</i>	453
B. <i>Incidences sur les bâtiments et ouvrages d'art</i>	454
4. <i>Effet des explosions nucléaires souterraines</i>	455
A. <i>Explosions à grande profondeur</i>	455
B. <i>Explosions débouchant en surface</i>	456
5. <i>Silos</i>	457
A. <i>Matière pulvérulente incompressible au remplissage</i>	457
B. <i>Matière pulvérulente incompressible à la vidange</i>	459
C. <i>Faits expérimentaux</i> :.....	460
a. <i>Remplissage</i>	460
b. <i>Vidange</i>	462
D. <i>Influence de la compressibilité</i>	464
BIBLIOGRAPHIE.....	464

CHAPITRE XXI.

STABILITÉ DES PENTES
ET CALCUL DES BARRAGES EN TERRE.

1. <i>Stabilité des pentes</i>	466
A. <i>Morphologie</i>	467
a. <i>Le glissement a une allure générale circulaire</i>	467
b. <i>Les glissements peuvent se produire à long terme dans une formation très dure</i>	467
c. <i>Les glissements sont souvent associés à des pressions interstitielles croissantes</i>	468
d. <i>Les glissements peuvent intervenir même dans des zones très plates</i>	469
e. <i>Les glissements interviennent souvent successivement en chaîne</i> ...	469
B. <i>Cause des glissements</i>	469
a. <i>Modification du moment moteur par charge en tête ou décharge en pied</i>	469
b. <i>Modification de régime hydraulique</i>	469
c. <i>Altération des caractéristiques du sol au voisinage de la surface en pente</i>	470
d. <i>Diminution du cisaillement limite lorsqu'un déviateur s'exerce pendant un temps de plus en plus long</i>	470
C. <i>Mesures propres à arrêter un glissement</i>	470
D. <i>Méthode générale de calcul de la stabilité des pentes en milieu à frottement effectif constant</i>	471
E. <i>Méthode de calcul en terrains à couches multiples</i>	474
F. <i>Résultats généraux pour les terrains homogènes</i>	475
a. <i>Stabilité des massifs rocheux</i>	475
b. <i>Stabilité des massifs argileux saturés</i>	479
1° <i>Stabilité à long terme</i>	479
2° <i>Stabilité à court terme</i>	480
G. <i>Écoulement de l'eau dans les talus</i>	481
a. <i>Méthodes</i>	481
b. <i>Résultats</i>	481
c. <i>Pentes naturelles indéfinies avec écoulement d'eau parallèle à la surface</i>	482

	Pages.
2. <i>Calcul des barrages en terre</i>	484
A. Historique.....	484
B. Types principaux de barrages en terre.....	484
C. Fonction mécanique.....	485
D. Pressions interstitielles.....	487
E. Périodes les plus critiques pour un barrage et zones les plus vulnérables..	489
BIBLIOGRAPHIE	491