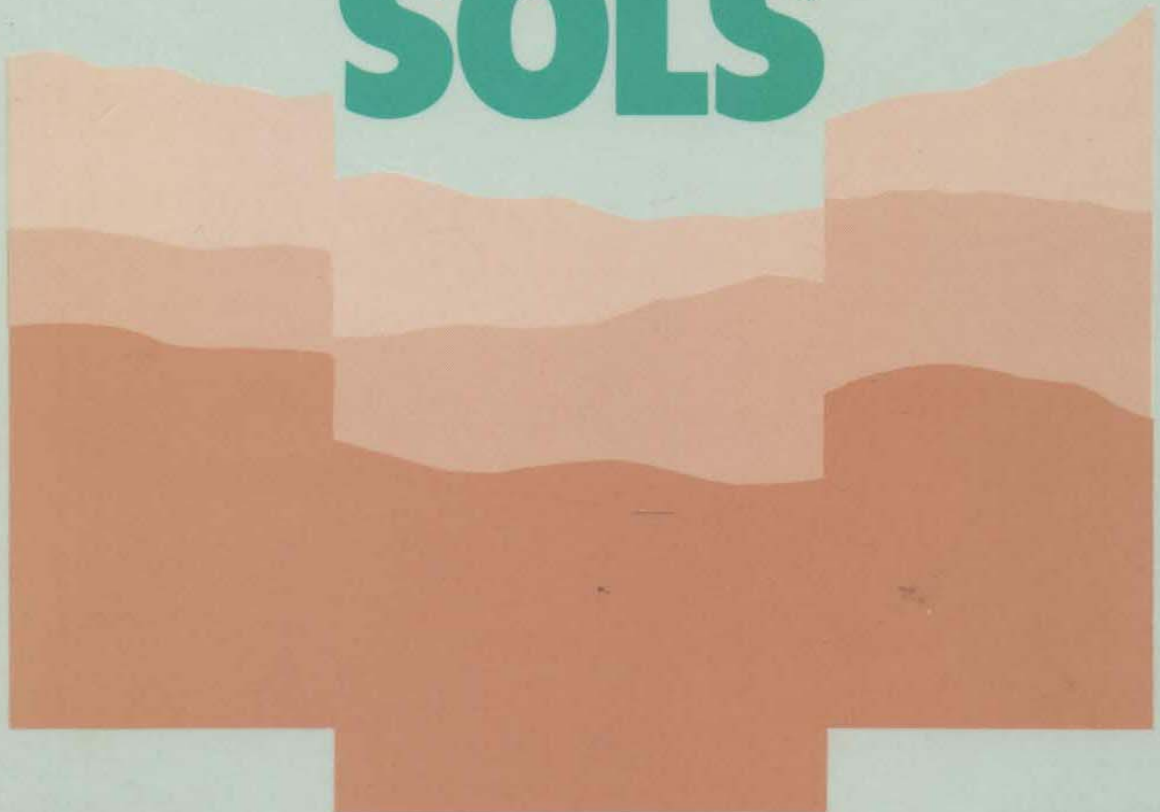


Cours de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées

François Schlosser

ELEMENTS DE MECANIQUE DES SOLS



Presses de l'école nationale des
Ponts et chaussées

Sommaire

Introduction	5
Chapitre I Les sols : analyse et définitions	7
Chapitre II Structure - Identification	17
Chapitre III La mécanique des milieux continus appliquée aux sols	35
Chapitre IV Hydraulique des sols	65
Chapitre V Tassements et consolidation	83
Chapitre VI La résistance au cisaillement des sols	123
Chapitre VII Poussée et butée des terres	145
Chapitre VIII Les fondations superficielles	175
Chapitre IX Les essais et mesures <i>in situ</i>	191
Chapitre X Les fondations profondes	211
Chapitre XI Stabilité des pentes	231
Chapitre XII La géotechnique routière	251
Résultats des exercices	263
Bibliographie	269
Table des matières	271

Table des matières

INTRODUCTION	5
CHAPITRE I — LES SOLS : ANALYSE ET DÉFINITION	
1. Introduction	
2. Études des éléments constitutifs d'un sol	
2.1. Le gaz	8
2.2. L'eau	8
2.3. Le squelette solide	9
3. Sol grenu - Sol fin - Sol organique	9
4. Paramètres de définition des sols	10
5. Relations entre les paramètres	13
6. Importance des paramètres sans dimension	14
<i>Exercices</i>	<i>15</i>
CHAPITRE II — STRUCTURE DES SOLS	
1. Structure des sols	17
1.1. Le comportement des sols grenus	17
1.2. Le comportement des sols fins	18
1.3. Les argiles	19
1.4. Les limons	22
2. Les essais d'identification	23
2.1. Paramètres indépendants	23
2.2. La granulométrie des sols	24
2.3. Essais propres aux sols grenus	26
2.4. Essais propres aux sols fins	27
2.5. Conclusion	28
3. Classification des sols	28
3.1. Sols à granulométrie uniforme	28
3.2. Sols à granulométrie non uniforme	29
4. Hétérogénéité des sols	31
4.1. Stratification	31
4.2. Homogénéité	31
<i>Exercices</i>	<i>32</i>
CHAPITRE III — LA MÉCANIQUE DES MILIEUX CONTINUS APPLIQUÉE AUX SOLS	
1. Notions générales	35
1.1. Notion de contrainte	35

1.2.	Cercles de Mohr	38
1.3.	Les équations d'équilibre	43
1.4.	Notion de déformation	45
1.5.	Relations contraintes-déformations - Modèles rhéologiques du comportement du sol	46
2.	Applications aux sols	50
2.1.	Contraintes dans les sols	50
2.2.	Applications des équations de l'équilibre	52
2.3.	Lois de comportement des sols	55
<i>Exercices</i>		64

CHAPITRE IV — HYDRAULIQUE DES SOLS

1.	Conditions générales	65
2.	La loi de Darcy	67
2.1.	La charge hydraulique	67
2.2.	Le gradient hydraulique	68
3.	Étude des réseaux d'écoulement	70
3.1.	Exemple de problème	72
3.2.	Méthode de résolution graphique	72
3.3.	Méthode par analogie électrique	74
3.4.	Méthodes de résolution numériques	75
4.	Forces exercées par l'écoulement de l'eau	76
4.1.	Détermination des forces d'écoulement	76
4.2.	Gradient critique - Phénomène de renard	77
5.	Mesure des perméabilités des sols	78
5.1.	Mesure de la perméabilité en laboratoire	78
5.2.	Mesure de la perméabilité <i>in situ</i>	79
6.	Cas des sols non saturés - Capillarité	79
6.1.	Rappel de la notion de capillarité	80
6.2.	La capillarité dans les sols	81
<i>Exercices</i>		81

CHAPITRE V — TASSEMENTS ET CONSOLIDATION

1.	Calcul des contraintes dans les sols	86
1.1.	Cas particulier d'un sol à surface uniformément chargée	86
1.2.	Calcul des contraintes par la théorie de l'élasticité	87
2.	Tassements des sols grenus	92
2.1.	Généralités	92
2.2.	Variations de l'indice des vides	92
3.	Tassements des sols fins - Consolidation	93
3.1.	La consolidation	93
3.2.	L'essai œdométrique	95
3.3.	Pression de préconsolidation	97
3.4.	Les temps de consolidation - Théorie de Terzaghi	99

4. Calcul des tassements	105
4.1. Généralités	105
4.2. La méthode œdométrique	106
4.3. La méthode pressiométrique	109
4.4. Calcul des tassements à partir des essais de chargement à la plaque	116
<i>Exercices</i>	121

CHAPITRE VI — LA RÉSISTANCE AU CISAILLEMENT DES SOLS

1. Généralités	123
1.1. Frottement intergranulaire	123
1.2. Cohésion vraie dans les sols fins	124
1.3. Comportement à court terme et comportement à long terme ..	124
1.4. Définition de la rupture dans un sol	125
2. Les appareils de laboratoire pour l'étude de la résistance au cisaillement des sols	126
2.1. La boîte de cisaillement	126
2.2. L'appareil triaxial	127
3. Résistance au cisaillement des sols grenus sans cohésion	128
3.1. Courbe intrinsèque d'un sol pulvérulent	129
3.2. Paramètres influençant l'angle de frottement interne d'un sol pulvérulent	129
3.3. Angle de talus naturel	130
3.4. Orientation du plan de rupture dans un essai au triaxial	131
3.5. Densité critique et dilatance	132
4. La résistance au cisaillement des sols fins saturés	133
4.1. La remise sous contraintes	134
4.2. Essai consolidé-drainé (C.D.)	135
4.3. Essai non consolidé-non drainé (U.U.)	137
4.4. Essai consolidé-non drainé (C.U.)	139
4.5. Essai de compression simple	140
5. Conclusions	141
5.1. Courbe intrinsèque d'un sol saturé	141
5.2. Théorème des états correspondants	142
5.3. Exemples de caractéristiques	142
<i>Exercices</i>	143

CHAPITRE VII — POUSSÉE ET BUTÉE DES TERRES

1. Relations entre les pressions latérales et les déformations latérales dans un massif de sol	145
1.1. Coefficient de pression des terres au repos	145
1.2. Définition de la poussée et de la butée des terres	147
2. Théorie de Rankine	150
2.1. Hypothèses	150
2.2. Coefficients de poussée et de butée	151

2.3. Calcul des forces de poussée et de butée	155
2.4. Inclinaisons des plans de rupture	157
3. Méthode de Sokolovski et influence du frottement entre le mur et le sol	158
4. Théorie de Coulomb	160
4.1. Hypothèses	160
4.2. Calcul de la force exercée	162
4.3. Valeurs du frottement entre le sol et le mur	165
4.4. Cas des sols frottants et cohérents	165
4.5. Validité de l'hypothèse d'une surface de rupture plane	166
5. Calcul des murs de soutènement et modalités constructives	167
5.1. Calcul d'un mur de soutènement	167
5.2. Ouvrages de soutènement	170
<i>Exercices</i>	175

CHAPITRE VIII — LES FONDATIONS SUPERFICIELLES

1. Pression limite sous une fondation superficielle	175
1.1. Hypothèse de Terzaghi	175
1.2. Sol pulvérulent non pesant	177
1.3. Sol pulvérulent et pesant	178
1.4. Sol non pesant à la fois cohérent et frottant	179
1.5. Sol pesant à la fois cohérent et frottant	180
1.6. Rupture à court terme et rupture à long terme	181
1.7. Fondations rectangulaires et circulaires	182
1.8. Charges excentrées et inclinées	183
2. Pression admissible sous une fondation	183
2.1. Définition	183
2.2. Calcul des tassements	184
2.3. Capacité portante des sols de fondations	184
2.4. Sols stratifiés de comportements différents	185
2.5. Calcul d'une fondation	185
2.6. Types de fondations superficielles	187
<i>Exercices</i>	188

CHAPITRE IX — LES ESSAIS ET MESURES *IN SITU*

1. Les sondages et les prélèvements d'échantillons	191
2. Les essais <i>in situ</i>	192
2.1. Le scissomètre	192
2.2. Le pénétromètre	193
2.3. Le pressiomètre	199
3. Les appareils de mesure <i>in situ</i>	203
3.1. Le piézomètre	204
3.2. Le tassomètre	205
3.3. Le capteur de contraintes type Glötz	206

3.3. Remblais sur sols inclinés	245
<i>Exercices</i>	250

CHAPITRE XII — LA GÉOTECHNIQUE ROUTIÈRE

1. Identification des sols	251
2. Le compactage.....	251
2.1. Introduction	251
2.2. Définition du compactage.....	252
2.3. Étude en laboratoire - Essai Proctor	252
3. Les effets du compactage	255
3.1. Sols grenus	255
3.2. Sols fins	255
4. Étude de la portance - Essai C.B.R.....	257
5. Étude Proctor-C.B.R.	257
6. Contrôle du compactage	259
6.1. Contrôle par mesure de γ_d et de w	259
6.2. Contrôle par essai de plaque	260
6.3. Contrôle de l'énergie apportée au sol.....	260
<i>Exercices</i>	261

RÉSULTATS DES EXERCICES	263
--------------------------------------	-----

BIBLIOGRAPHIE	269
----------------------------	-----

4. La similitude dans les sols	206
4.1. Conditions de similitude découlant des équations indéfinies de l'équilibre	207
4.2. Conditions de similitude découlant de la loi de comportement des matériaux	207
<i>Exercices</i>	208

CHAPITRE X — LES FONDATIONS PROFONDES

1. Introduction	211
2. Les différents types de fondations profondes	211
2.1. Les pieux battus ou foncés	212
2.2. Les puits ou pieux moulés	212
3. Généralités sur la force portante d'un pieu	212
4. Détermination de la force limite d'un pieu	214
4.1. Formules dynamiques déduites du battage	214
4.2. Formules statiques	215
4.3. Détermination de la force limite à partir des résultats de l'essai au pénétromètre	218
4.4. Détermination de la charge limite à partir des résultats de l'essai au pressiomètre	219
4.5. Essai de pieu	222
5. Charge limite d'un groupe de pieux	224
6. Charge admissible d'un pieu ou d'un groupe de pieux	225
7. Pieux chargés de façon quelconque	225
8. Projets de fondations profondes	226
8.1. Choix entre fondations superficielles et fondations profondes ..	226
8.2. Type et profondeur de fondations	226
8.3. Frottement latéral négatif.	227
8.4. Risques de cisaillement des pieux	227
<i>Exercices</i>	228

CHAPITRE XI — STABILITÉ DES PENTES

1. Quelques notions sur les glissements de terrain	231
1.1. Glissement plan	231
1.2. Glissement circulaire	233
1.3. Glissements à court terme et à long terme	234
2. Méthodes de calcul	235
2.1. Définition d'un coefficient de sécurité	235
2.2. Choix d'une courbe de calcul	236
2.3. Méthode de calcul le long d'un cercle de glissement	237
2.4. La méthode des tranches	238
3. Calculs pratiques de stabilité des pentes	241
3.1. Tranchées de déblai	241
3.2. Talus de remblais sur sols mous	243