

Table des matières

Préambule	III
■ Chapitre 1	
Le sol et les fluides qui y circulent	1
1 L'organisation du milieu sol	2
1.1. La phase solide et les éléments constitutifs de la matrice-sol.....	3
1.1.1. L'analyse granulométrique	3
1.1.2. Les constituants solides et la texture	3
1.2. La structure	10
1.2.1. La microstructure	10
1.2.2. La macrostructure	10
1.2.3. Les modifications de la structure et leurs causes	11
1.3. L'espace poral	12
1.3.1. Forme de l'espace poral	13
1.3.2. L'organisation du sol en horizons ou en couches	16
1.3.3. Caractérisation de la porosité	17
1.3.4. La surface spécifique σ	27
1.3.5. Répartition et forme des pores	27
1.3.6. L'évolution de la structure des sols : le retrait et le gonflement	31
1.3.7. Propriétés rhéologiques des milieux poreux et des sols	33
1.3.8. Conclusion sur la porosité	34
1.4. Les fluides du sol	34
1.4.1. La phase liquide	35
1.4.2. La phase gazeuse	51

■ Chapitre 2

La circulation des fluides dans le sol	55
1 Les forces mises en jeu	57
1.1. Physique des forces mises en jeu lors de la progression d'un ménisque dans un tube capillaire	57
1.1.1. La tension superficielle	57
1.1.2. La mouillabilité	58
1.1.3. Forces mises en jeu dans le cas d'ascension de l'eau dans les tubes capillaires	59
2 Généralités sur la notion de potentiel : l'état énergétique de l'eau du sol	61
2.1. Définition du potentiel hydrique	62
2.2. Le potentiel de l'eau du sol	63
2.3. Potentiel hydrique et état énergétique	63
2.3.1. Les différents potentiels	65
3. Le potentiel de l'eau du sol et sa mesure : la piézométrie et la tensiométrie	75
3.1. Généralités	75
3.2. La tensiométrie	76
3.2.1. La tensiométrie et la mesure du potentiel de l'eau du sol	76
3.3. La nappe et sa détection : la piézométrie	83
3.3.1. Le principe du piézomètre	83
3.3.2. Réalisation d'un piézomètre	85
3.3.3. Les outils pour installer une fosse, un puits ou un piézomètre	86
3.3.4. Méthodes de réalisation des forages pour les essais de perméabilité	88
3.3.5. Enregistrement du niveau de la nappe et évaluation du gradient hydraulique	94
3.4. Comparaison des réponses données par les piézomètres et les tensiomètres	96
3.5. Conclusion	97
4 La circulation de l'eau dans un milieu saturé	97
4.1. L'expérience de Darcy	98
4.1.1. Le rapport de Darcy	103
4.1.2. La perméabilité intrinsèque	104
4.1.3. Expression ponctuelle de la loi de Darcy	104
4.1.4. Équation de continuité	106
4.1.5. Expression de l'anisotropie	107
4.1.6. Expression de l'hétérogénéité	109
4.1.7. Validité et limite de la loi de Darcy	115
4.2. Les dénominations et notations utilisées pour la conductivité hydraulique	115
4.2.1. Conductivité hydraulique ou perméabilité	115
4.2.2. Les unités utilisées pour exprimer la conductivité hydraulique	117
5 Circulation de l'eau en sol non saturé	117
5.1. La généralisation de la loi de Darcy	117
5.2. L'infiltration de l'eau dans les sols	118

5.2.1. Équations qui régissent le phénomène	119
5.2.2. L'infiltration dans le sens vertical	120
5.2.3. L'infiltration horizontale	123
5.3. Les mouvements ascendant : L'évaporation	123
5.3.1. Vitesse d'ascension capillaire	125
5.4. Facteurs affectant l'infiltration	125
5.5. La sorptivité.....	125
5.5.1. Définition	126
5.5.2. Méthodes utilisées pour la détermination de la sorptivité	126
5.5.3. Relation entre sorptivité et conductivité hydraulique à saturation	127
6 Circulation de l'air dans les sols et rôle de la phase gazeuse dans l'écoulement de l'eau	128
6.1 La phase gazeuse	128
6.1.1. Loi d'écoulement des gaz	128
6.1.2. Rôle de la phase gazeuse dans l'infiltration	130
6.1.3. Écoulement de l'eau s'infiltrant dans un milieu contenant de l'air	132
7 La qualité de l'eau et son influence sur la conductivité hydraulique	133
7.1. Les gaz dissous dans l'eau	134
7.2. Les électrolytes.....	134
7.3. La turbidité.....	135
8 La température du sol et son influence sur la conductivité hydraulique .	135
9 Les effets des microorganismes sur la conductivité hydraulique	137
■ Chapitre 3	
Méthodes <i>in situ</i> à saturation dans la zone non saturée	143
1 Mesures réalisées à partir de la surface du sol ou sur des horizons d'un profil de sol	146
1.1. L'infiltrométrie en pression.....	146
1.1.1. Méthode du simple anneau ouvert ou anneau de Müntz (Single ring method)	146
1.1.2. Infiltromètre simple anneau fermé	152
1.1.3. Méthode du perméamètre à entrée d'air	156
1.1.4. La méthode du « Velocity Permeameter »	162
1.1.5. Méthode du double anneau (Double Ring Infiltrometer)	165
1.1.6. Méthode du simulateur de pluie	182
1.2. Les méthodes par infiltration utilisant une tension proche de la saturation.....	190
1.2.1. Méthode du perméamètre multidisques	190
1.2.2. Méthode de l'infiltromètre minidisque	200
2 Mesures par infiltration à partir d'un trou de tarière ou d'un forage	209
2.1. Méthode de Porchet.....	211
2.1.1. Méthode de Porchet à niveau variable	212
2.1.2. Méthode de Porchet à niveau constant	216
2.2. Méthode du « Shallow well pump in »	221
2.3. Méthode de Nasberg-Terletska	224

2.4. La Méthode de Winger	227
2.5. Méthode du gradient d'infiltration.....	234
2.6. Méthode des deux tubes (Méthode de Bouwer).....	236
2.7. Méthode du perméamètre de Guelph	264
2.8. La méthode de Boutwell (two stage borehole test).....	273
2.9. Essai Lefranc	278
3 Méthodes proposant l'infiltration à partir d'une tranchée, d'une fosse	284
3.1. Méthode statique - Méthode de Matsuo.....	284
3.2. Méthode dynamique : l'infiltrométrie à la raie (Furrow Infiltrometer)	290
4 Méthodes avec conditions de flux ou méthode de la tache saturée	295
4.1. La méthode de la tache saturée	295
4.2. La méthode du dripper ou méthode de Shani	300

■ Chapitre 4

Méthodes <i>in situ</i> en présence d'une nappe	311
1 Méthodes utilisant le pompage dans la nappe	314
1.1. Méthodes avec pompage de courte durée	314
1.1.1. Méthode du trou de tarière (auger hole method)	314
1.1.2. Méthode du piezomètre (Piezometer method)	325
1.1.3. Méthode du tube (Tube method)	330
1.1.4. Méthode du tube crépiné (Well-point technique)	332
1.1.5. Méthode de la ligne de drains (drain line method)	333
1.2. Méthode de mesure par pompage ponctuel de moyenne à longue durée en régime permanent pour réaliser des profils de conductivité hydraulique	337
1.2.1. Méthode du « Piezometer cone permeameter »	337
1.2.2. Méthode des deux puits	342
1.2.3. Méthode des quatre puits (Four well method)	345
1.2.4. Méthode des puits multiples	349
1.2.5. Méthode du puits et des piézomètres (Pumping test)	350
1.2.6. Méthode de la mesure de débit dans un forage ou un trou de tarière (Borehole flowmeter method)	370
2 Méthodes utilisant une mise charge permanente ou transitoire ou une mise en charge par « à coup » de pression	375
2.1. Mise en charge permanente ou transitoire	375
2.1.1. Méthode du tube ouvert	375
2.1.2. Méthode de Lefranc ou essai Lefranc	382
2.2. Méthodes utilisant les « à coup » de pression ou chocs hydrauliques.....	394
2.2.1. Méthode du choc hydraulique ou Slug test	394
2.2.2. Méthode du Pulse test	403
2.2.3. Essai Lugeon	416
2.2.4. Mini Slug test	425
2.3. Méthode combinant en même temps dépression et surpression : méthode du flux bipolaire (Dipole-flow test).....	433

■ Chapitre 5

Méthodes <i>in situ</i> en milieu non saturé	445
1 Méthode de la couche cimentée ou méthode de la croûte	446
2 Méthode du temps de réponse du tensiomètre	452
3 Méthode de Holland	456
4 Méthode utilisant la sorptivité	460
5 Méthodes du profil instantané et du drainage interne	463
5.1. Profil instantané	464
5.2. Méthode du drainage interne	471
1. Installation de l'essai	476
2. Étalonnage des sondes neutroniques	476
6 Le perméamètre à pointe conique (cone permeameter)	491

■ Chapitre 6

Méthodes de laboratoire en milieu saturé	501
1 Le prélèvement de l'échantillon non remanié	503
2 Méthode du perméamètre ou méthode du cylindre (Rigid wall permeameter)	506
2.1. La Méthode du perméamètre cylindrique sur sol non remanié	506
2.1.1. Méthode du perméamètre cylindrique à charge variable	507
2.1.2. La méthode du perméamètre à charge constante	517
2.2. Méthode du cylindre sur sol remanié	522
3 Méthode de Vergière	525
4 Méthode triaxiale (flexible wall permeameter)	535
5 Méthode par centrifugation	553
5.1. Méthode à charge constante (Constant-Head Centrifuge Method) ..	553
5.2. Méthode à charge variable (Falling head Centrifuge Method)	557

■ Chapitre 7

Méthodes de laboratoire en milieu non saturé	563
1 Généralités	565
1.1. Matériels universellement utilisés pour réaliser les mesures	566
1.2. Bouteille de Mariotte	566
1.3. Plaques poreuses	567
2 Méthodes en régime permanent	568
2.1. Méthode des deux plaques (Two plate method)	568
2.2. Méthode de l'air piégé	572
2.3. Méthode de la longue colonne	577
2.4. Méthode des aiguilles ou du flux micronisé	583
2.5. méthode utilisant la centrifugation	588

