

Analyse physique des sols

Méthodes choisies

Clément Mathieu
Françoise Pieltain

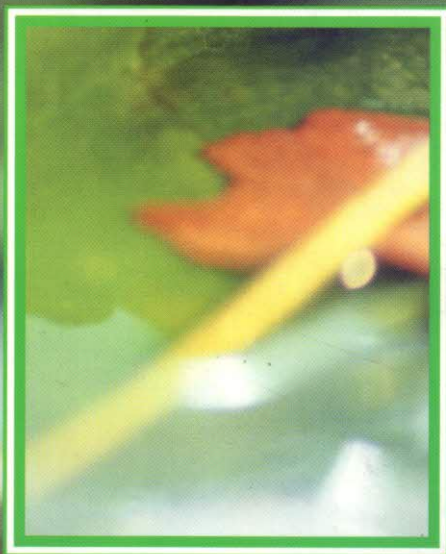


Table des matières

Chapitre 1. *Prélèvement et préparation des échantillons de terre*

1.1. Principe	1
1.2. Échantillonnage sur le terrain	2
1.2.1. Échantillons perturbés	2
1.2.1.1. Dans un profil pédologique	2
A) Remarques préliminaires	2
B) Matériel	3
C) Échantillonnage	3
1.2.1.2. Dans une parcelle agricole	4
A) Principe	4
B) Matériel	5
C) Échantillonnage	6
1.2.2. Échantillons non perturbés	10
1.2.2.1. Principe	10
1.2.2.2. Type de prélèvement	11
A) Mottes et agrégats	11
B) Cylindres métalliques	11
C) Boîtes de « Kubiena »	11
1.3. Préparation d'un échantillon de sol	11
1.3.1. Principe	11
1.3.2. Enregistrement	12
1.3.3. Appareils et matériel	12
1.3.4. Mode opératoire	13
1.3.4.1. Échantillons perturbés	13
A) Séchage	13
B) Réduction des agrégats et tamisage	14
C) Détermination des refus	15
D) Remarques	15
1.3.4.2. Échantillons non perturbés	16
Bibliographie	16

Chapitre 2. *L'analyse granulométrique*

2.1. Principe	19
2.2. Prétraitements du sol (matériau < 2 mm, terre fine)	21
2.2.1. Destruction de la matière organique et dispersion	21
2.2.1.1. Principe	21
2.2.1.2. Appareillage et réactifs	21

	A) Verrerie et divers	22
	B) Appareils.....	22
	C) Réactifs	22
2.2.1.3.	Mode opératoire.....	22
	A) Cas des sols avec présence de carbonates et sans destruction de ceux-ci ou des sols à complexe désaturé	23
	B) Cas des sols à complexe riche en produits humifères	23
2.2.2.	Destruction du carbonate de calcium	24
2.2.2.1.	Principe de la décarbonatation.....	24
2.2.2.2.	Appareillage et réactifs	24
	A) Verrerie et divers	24
	B) Appareils.....	24
	C) Réactifs	24
2.2.2.3.	Mode opératoire.....	24
2.2.3.	Dispersion sans décarbonatation	24
2.2.3.1.	Principe	24
2.2.3.2.	Appareillage et réactifs	24
	A) Verrerie et divers	24
	B) Appareils.....	24
	C) Réactifs	24
2.2.3.3.	Mode opératoire.....	24
2.2.4.	Traitement des sols gypseux et sols salés	24
2.2.4.1.	Principe et précautions, sols gypseux	24
2.2.4.2.	Appareillage et réactifs	24
	A) Verrerie et divers	24
	B) Appareils.....	24
	C) Réactifs	24
2.2.4.3	Mode opératoire	24
	A) Estimation rapide de la teneur en gypse par perte de poids.....	24
	B) Élimination du gypse des sols en contenant moins de 10 %	30
	C) Élimination du gypse y compris dans les sols en contenant plus de 10 %	30
2.2.4.4.	Sols salés, avec absence de gypse.....	30
	A) Contrôle des sels et du gypse.....	30
	B) Élimination des sels	30
2.2.5.	Traitement des terres riches ou sesquioxydes de fer et d'aluminium	30
2.2.5.1.	Méthode par HCl	30
	A) Principe.....	30
	B) Appareillages et réactifs	30
	C) Mode opératoire.....	30
2.2.5.2.	Méthode au mixer	33
	A) Principe.....	33
	B) Appareillage	33
	C) Mode opératoire.....	33
2.2.5.3.	Méthode aux ultrasons	34
	A) Principe.....	34
	B) Appareillage	34
	C) Mode opératoire.....	34
2.2.5.4.	Méthode au dithionite citrate	35
	A) Principe.....	35
	B) Appareillage	35
	C) Réactifs	35
	D) Mode opératoire.....	35
2.2.5.5.	Méthode de calcul estimatif.....	36
2.2.6.	Prétraitement par résines échangeuses d'ions	36

2.2.6.1.	Principe	36
2.2.6.2.	Appareillage et réactifs	37
2.2.6.3.	Mode opératoire	37
2.2.7.	Problèmes posés par les andosols	38
2.3.	Méthode par sédimentation	38
2.3.1.	Principe	38
2.3.2.	Appareillage et réactifs (après les prétraitements)	41
	A) Verrerie et divers	41
	B) Appareillage et réactifs	41
2.3.3.	Mode opératoire	42
	A) Pesée	42
	B) Dispersion	43
	C) Prélèvement	43
	D) Séchage	45
	E) Tamisage	45
2.3.4.	Calculs	46
2.3.4.1.	Fractions fines recueillies à la pipette	47
2.3.4.2.	Sables (50 à 2 000 microns)	49
2.3.4.3.	Contrôle	50
2.3.4.4.	Sables fins	50
2.3.4.5.	Sables grossiers	50
2.3.5.	Dosage de l'humidité	50
2.4.	Méthodes densimétriques	50
2.4.1.	Principe	51
2.4.2.	Méthode de l'hydromètre de Bouyoucos	52
2.4.2.1.	Principe	53
2.4.2.2.	Matériel	53
2.4.2.3.	Mode opératoire	53
	A) Détermination de l'argile et des limons	53
	B) Séparation des sables	53
2.4.2.4.	Calculs	54
	A) Sans correction pour l'hydromètre	55
	B) Avec correction pour l'hydromètre	55
2.4.3.	Méthode par centrifugation	63
2.4.3.1.	Principe	63
2.4.3.2.	Exemple	67
	A) Calcul du temps de sédimentation	67
	B) Calcul de la vitesse de centrifugation	67
2.5.	Argile dispersable à l'eau	68
2.6.	Présentation des résultats	68
2.6.1.	Le triangle textural	68
2.6.2.	Les courbes cumulatives	70
2.6.3.	Les profils verticaux, cartouches, histogrammes	71
2.6.4.	Modes de calcul et exemples de granulométries sans et après décarbonatation	73
Bibliographie		74

Chapitre 3. Mesures de la porosité

3.1.	Présentation-définitions	77
3.2.	Caractères-propriétés	79
3.2.1.	La densité réelle ou densité de solide	79
3.2.2.	La densité apparente ou densité sèche et porosité	79
3.3.	Analyse de l'espace poral	80
3.3.1.	Les composantes d'une même masse de sol	80
3.3.2.	Les grandeurs calculées : les porosités	81

3.4.	La densité réelle	82
3.4.1.	Principe	82
3.4.2.	Matériel	82
3.4.3.	Mode opératoire	82
3.5.	La densité apparente.....	84
3.5.1.	Objet.....	84
3.5.2.	La densité apparente avec le densitomètre à membrane	84
3.5.2.1.	Principe	84
3.5.2.2.	Matériel.....	84
	A) Terrain	84
	B) Laboratoire	84
3.5.2.3.	Mode opératoire.....	86
3.5.2.4.	Calculs	86
3.5.2.5.	Précision	88
3.5.2.6.	Discussion.....	88
3.5.3.	La densité apparente avec le cylindre calibré	88
3.5.3.1.	Principe.....	88
3.5.3.2.	Matériel.....	88
	A) Matériel d'accompagnement de terrain	88
	B) Matériel de prélèvement	88
	C) Laboratoire	89
3.5.3.3.	Mode opératoire.....	89
	A) Sur le terrain	89
	B) Au laboratoire.....	89
3.5.3.4.	Calculs	91
3.5.3.5.	Discussion.....	91
3.5.4.	La densité apparente, méthode du sable.....	91
3.5.4.1.	Principe	91
3.5.4.2.	Méthode avec cône et éprouvette	92
	A) Matériel.....	92
	B) Mode opératoire.....	92
3.5.4.3.	Méthode avec éprouvette seule.....	94
	A) Matériel.....	94
	B) Mode opératoire.....	94
3.5.4.4.	Calculs	94
3.5.4.5.	Précision	94
3.5.4.6.	Discussion.....	94
3.5.5.	La densité apparente des sols caillouteux	95
3.5.6.	La densité apparente des mottes et agrégats élémentaires (méthode au pétrole)	96
3.5.6.1.	Principe	96
3.5.6.2.	Matériel, produits.....	97
3.5.6.3.	Mode opératoire.....	97
3.5.6.4.	Calculs	98
3.5.6.5.	Discussion.....	98
3.5.7.	La densité apparente des mottes (« bulk density ») (méthode à la paraffine)	99
3.5.7.1.	Principe	99
3.5.7.2.	Matériel, produits.....	100
3.5.7.3.	Mode opératoire.....	100
3.5.7.4.	Calculs	101
3.5.7.5.	Discussion.....	101
3.6.	Présentation des résultats	102
	Bibliographie.....	104

Chapitre 4. Tests de stabilité structurale et de percolation

4.1. Présentation-définitions	107
4.2. Méthode Hénin : test de stabilité structurale	108
4.2.1. Principe	108
4.2.2. Matériel	109
4.2.2.1. Appareillage et divers	109
4.2.2.2. Verrerie par échantillon	110
4.2.2.3. Produits	110
4.2.3. Mode opératoire	110
4.2.3.1. Préparation des échantillons	110
4.2.3.2. Détermination du taux d'agréats	111
4.2.3.3. Détermination du taux maximum d'argile et de limon	112
4.2.3.4. Détermination du taux de sables grossiers	112
4.2.4. Calcul de l'indice d'instabilité structurale I_s	113
4.3. Méthode Hénin : test de percolation	113
4.3.1. Principe	113
4.3.2. Matériel	114
4.3.3. Mode opératoire	114
4.3.3.1. Préparation des échantillons	114
4.3.3.2. Remplissage des tubes à percolation	114
4.3.3.3. Percolation	116
4.3.3.4. Calcul du coefficient K	116
4.4. Présentation des résultats	117
4.4.1. Indice d'instabilité	117
4.4.2. Tests de percolation	117
4.4.3. Combinaison des résultats	119
4.5. Méthode Yoder	120
4.5.1. Principe	120
4.5.2. Matériel	120
4.5.3. Mode opératoire	121
4.5.4. Calcul	121
4.5.5. Présentation des résultats	122
4.6. Test d'Emerson modifié Greenland	122
4.6.1. Principe	122
4.6.2. Matériel	122
4.6.2.1. Matériel divers	123
4.6.2.2. Produits	123
4.6.3. Mode opératoire	123
4.6.3.1. Préparation des échantillons	123
4.6.3.2. Le test	124
4.6.4 Enregistrements et interprétation des observations	127
4.6.4.1. Enregistrement	127
4.6.4.2. Interprétation	129
4.6.4.3. Réserves et proposition	129
Bibliographie	130

Chapitre 5. Limites et indice d'Atterberg et limite de retrait

5.1. Les différents états du sol-définitions	133
5.2. Limites et indice d'Atterberg	134
5.2.1. Principe	134
5.2.2. Matériel	136
5.2.2.1. Appareil de Casagrande	136
5.2.2.2. Outil à rainure	136
5.2.2.3. Divers	136
5.2.3. Mode opératoire	138

5.2.3.1.	Préparation de l'échantillon.....	138
5.2.3.2.	Exécution des essais.....	138
	A) Limite de liquidité.....	138
	B) Point d'adhésivité.....	142
	C) Limite de plasticité.....	142
5.2.4.	Calculs.....	143
5.2.5.	Précision.....	143
5.2.6.	Discussion.....	144
5.2.7.	Présentation des résultats.....	144
5.3.	Limite de retrait.....	145
5.3.1.	Principe.....	145
5.3.2.	Matériel.....	146
	5.3.2.1. Matériel spécifique.....	146
	5.3.2.2. Matériel courant et produits.....	146
5.3.3.	Mode opératoire.....	147
	5.3.3.1. Préparation de l'échantillon.....	147
	5.3.3.2. Mise à l'état liquide.....	147
	5.3.3.3. Remplissage de la coupelle.....	147
	5.3.3.4. Séchage.....	147
	5.3.3.5. Mesure du volume du disque de sol sec.....	148
5.3.4.	Indice COLE.....	148
	Bibliographie.....	149

Chapitre 6. Tests de filtration

6.1.	Présentation-définitions.....	151
6.2.	Loi de Darcy.....	152
6.3.	Les méthodes.....	153
6.4.	Méthode Muntz : test de laperméabilité par double anneau.....	155
6.4.1.	Principe.....	155
6.4.2.	Matériel.....	158
	6.4.2.1. Deux cylindres.....	158
	6.4.2.2. Un système d'alimentation en eau.....	158
	6.4.2.3. Petit matériel.....	159
6.4.3.	Mode opératoire.....	159
6.4.4.	Calculs et corrections de température.....	160
	6.4.4.1. Calculs.....	160
	6.4.4.2. Correction de température.....	160
6.4.5.	Discussion.....	161
6.4.6.	Variation de la perméabilité Muntz.....	161
6.5.	Méthode du perméamètre de Guelph.....	163
6.5.1.	Principe.....	163
	6.5.1.1. L'équation générale.....	163
	6.5.1.2. La sorptivité.....	164
	6.5.1.3. Le potentiel hydrique.....	164
6.5.2.	Matériel.....	165
6.5.3.	Mode opératoire.....	167
	6.5.3.1. Opération préliminaire.....	167
	6.5.3.2. Établissement d'une charge hydraulique dans le trou de tarière.....	167
	6.5.3.3. Mesure de l'écoulement.....	168
	6.5.3.4. Deuxième test ou confirmation de la mesure.....	168
6.5.4.	Calculs.....	168
	6.5.4.1. Calcul de la conductivité hydraulique et du potentiel matriciel.....	168
	6.5.4.2. Calcul de la sorptivité.....	169
	6.5.4.3. Calcul de la constante α	169
6.5.5.	Discussion.....	170

6.6. Méthode de l'infiltromètre multidisques	170
6.6.1. Principe	170
6.6.2. Matériel	172
6.6.3. Mode opératoire	173
6.6.3.1. Préparation du perméamètre	173
6.6.3.2. Réglage de la pression h_0 qui sera imposée à la surface	174
6.6.3.3. Préparation de la surface	174
6.6.3.4. Conduite de l'essai d'infiltration	175
6.6.3.5. Mesures en fin d'essai	175
6.6.4. Calculs	176
6.6.4.1. Calcul de la conductivité hydraulique K	176
6.6.4.2. Calcul de la sorptivité S	177
6.6.5. Remarques	177
6.7. Méthode du trou de sondage en sol saturé	177
6.7.1. Principe	177
6.7.2. Matériel	178
6.7.3. Mode opératoire	179
6.7.3.1. Creusement des trous	179
6.7.3.2. Pompage de l'eau hors des trous	179
6.7.4. Calcul de K	180
6.7.4.1. Cas où $J > 0,5 H$	181
6.7.4.2. Cas où $J = 0$	182
6.7.4.3. Exemple de l'utilisation de l'abaque pour $r = 5 \text{ cm}$ et $J > 0,5 H$	182
6.8. Méthode du puits et des piézomètres en sol saturé	183
6.8.1. Principe	183
6.8.2. Matériel	183
6.8.2.1. Matériel de mise en place du puits et des piézomètres	183
6.8.2.2. Matériel de pompage	183
6.8.2.3. Matériel de mesure	184
6.8.3. Mode opératoire	184
6.8.3.1. Creusement des trous	184
6.8.3.2. Déroulement de la mesure	185
6.8.4. Calculs	185
6.8.4.1. Cas où le plancher imperméable est peu profond	185
6.8.4.2. Cas où le plancher imperméable est profond ou mal caractérisé	188
A) Calculs	189
B) Exemple d'application	189
6.9. Méthode de l'infiltromètre à aspersion ou mini simulateur de pluie	194
6.9.1. Objectifs	194
6.9.2. Principe	194
6.9.3. Matériel	196
6.9.3.1. La tour, armature de l'appareil	196
6.9.3.2. Le dispositif d'arrosage	196
A) La version mécanique	197
B) La version électronique	197
6.9.3.3. Le système d'alimentation en eau et en courant électrique	198
6.9.3.4. La parcelle expérimentale	198
6.9.3.5. La cuve réceptrice du ruissellement	199
6.9.3.6. Le système de mesure du ruissellement	200
6.9.4. Caractéristiques d'utilisation	201
6.9.4.1. La consommation en eau	201
6.9.4.2. Choix de la pression	202
6.9.4.3. Réglage de l'intensité	202
6.9.4.4. Les données d'une pluie simulée	203
6.9.5. Coût du mini simulateur de pluie	204
Bibliographie	204

Chapitre 7. Mesure des humidités caractéristiques

7.1.	Les états de l'eau dans le sol.....	217
7.2.	Notions de potentiel matriciel et de pF.....	218
7.2.1.	Potentiel matriciel	218
7.2.2.	Le pF.....	219
7.3.	Relation entre teneur en eau et potentiel matriciel La courbe caractéristique de l'humidité du sol	220
7.4.	Mesures du potentiel matriciel – présentation	221
7.4.1.	Les mesures de laboratoire.....	223
7.4.2.	Les mesures <i>in situ</i>	223
7.4.3.	En définitive	223
7.5.	Mesures des pF au laboratoire	224
7.5.1.	Méthode des chambres à pression.....	224
7.5.1.1.	Principe	224
7.5.1.2.	Matériel.....	226
	A) Chambre d'extraction haute pression à membrane	226
	B) Chambre d'extraction haute pression à plaque.....	226
	C) Chambre d'extraction basse pression à plaque.....	226
	D) Ensemble manifolds	227
	E) Alimentation en gaz comprimé	227
	F) Autres matériels.....	228
7.5.1.3.	Produit	228
7.5.1.4.	Modes opératoires.....	228
	A) Capacité de rétention à pF 2,5, chambre d'extraction modèle 1600	228
	B) Point de flétrissement à pF 4,2, chambre d'extraction modèle 1500	231
	C) Point de flétrissement à pF 4,2, chambre d'extraction modèle 1000	232
7.5.1.5.	Remarques	235
7.5.2.	Méthode par succion, pF 2,5.....	237
7.5.2.1.	Principe	237
7.5.2.2.	Matériel.....	238
7.5.2.3.	Mode opératoire.....	238
7.5.2.4.	Remarques	239
7.5.3.	Méthode hygroscopique, pF 4,2.....	240
7.5.3.1.	Principe	240
7.5.3.2.	Matériel.....	241
7.5.3.3.	Produits.....	241
7.5.3.4.	Mode opératoire.....	241
7.5.3.5.	Calculs	242
7.5.3.6.	Remarque	242
7.6.	Mesures sur le sol en place	243
7.6.1.	Mesure avec le tensiomètre à bougie poreuse.....	243
7.6.1.1.	Principe.....	243
7.6.1.2.	Matériel.....	245
7.6.1.3.	Mode opératoire.....	245
	A) Préparation de l'appareil.....	245
	B) Mise en place du tensiomètre	246
7.6.1.4.	Remarques	246
7.6.2.	Mesure de la capacité de rétention après arrosage sur le terrain.....	247
7.6.2.1.	Principe.....	247
7.6.2.2.	Matériel.....	247
7.6.2.3.	Mode opératoire.....	247

7.6.2.4. Dosage de l'humidité.....	248
7.6.2.5. Remarque.....	248
7.6.3. Mesure du point de flétrissement par la méthode biologique	248
7.6.3.1. Principe	248
7.6.3.2. Matériel.....	249
7.6.3.3. Mode opératoire.....	249
7.6.3.4. Dosage de l'humidité.....	249
7.6.3.5. Remarques	250
7.7. Exemples de teneurs en eau du sol aux pF caractéristiques.....	250
Bibliographie	251
Index	253
Liste des figures	257
Liste des tableaux	261
Liste des photos	263
Liste des annexes	265