



SCIENCES SUP

Cours

Master • Écoles d'ingénieurs • CAPES

INTRODUCTION À LA SCIENCE DU SOL

Sol, végétation, environnement

6^e édition

Philippe Duchaufour

DUNOD

Table des matières

PRÉFACE	1
INTRODUCTION : SCIENCE DU SOL ET PÉDOLOGIE	3
PARTIE 1	
LES CONSTITUANTS DU SOL ET LEUR ORIGINE	
CHAPITRE 1 • LA FRACTION MINÉRALE	7
1.1 Introduction et définitions	7
1.1.1 Les processus fondamentaux de l'altération	8
1.2 Classement des minéraux par grosseur : granulométrie	9
1.2.1 Analyse granulométrique	9
1.2.2 Classement des particules	11
1.2.3 Classification des textures	11
1.2.4 Composition minéralogique des fractions granulométriques	13
1.3 Bilan de l'altération : indice d'altération	13
1.4 Le matériau d'origine : minéraux et roches	14
1.4.1 Minéraux	14
1.4.2 Roches	15
1.5 Complexe d'altération : les argiles	17
1.5.1 Structure des feuillets	18
1.5.2 Charges, espacement des feuillets, pouvoir gonflant	19
1.5.3 Les principales familles d'argiles des sols	20

1.6	Complexe d'altération : oxyhydroxydes	23
1.6.1	Les oxyhydroxydes de fer	24
1.6.2	Oxyhydroxydes d'aluminium	25
1.6.3	Silice	26
1.6.4	Manganèse	27
1.7	Désagrégation physique et altération chimique	27
1.7.1	Altération biochimique	28
1.7.2	Altération géochimique	30
1.8	Écologie de l'altération	30
1.8.1	Facteurs bioclimatiques généraux	32
1.8.2	Facteurs de station	33
CHAPITRE 2 • LA FRACTION ORGANIQUE		35
2.1	Définitions et généralités	35
2.1.1	Types d'humus de formations végétales naturelles (forêts)	36
2.1.2	Les composés humiques : identification, structure, fractionnement	38
2.2	Les agents de l'humification : les organismes vivants	40
2.2.1	Bactéries	40
2.2.2	Actinomycètes et champignons	42
2.2.3	La faune du sol	43
2.3	La matière première de l'humus : matière organique fraîche	44
2.3.1	Origine de la matière organique fraîche	44
2.3.2	Composition de la matière organique fraîche	45
2.4	Humification : processus biologiques	48
2.4.1	Néoformation des composés humiques	48
2.4.2	Héritage et transformation (composants des membranes)	49
2.4.3	Biochimie de l'évolution des complexes organo-minéraux	49
2.5	Stabilisation physico-chimique et maturation	51
2.5.1	Stabilisation physico-chimique	51
2.5.2	Maturation	52
2.6	Composition biochimique des humus	52
2.7	Formation et rôle des associations organo-minérales	54
2.7.1	Mor et moder acides sur matériau quartzeux	54
2.7.2	Mull acide	55
2.7.3	Mull eutrophe et mésotrophe	55
2.7.4	Mull calcique et carbonaté	56
2.7.5	Mull ferrallitique	56
2.8	Écologie de l'humification	56
2.8.1	Les ensembles bioclimatiques	57
2.8.2	Les facteurs de stations et l'action humaine	57

PARTIE 2

LES PROPRIÉTÉS GLOBALES DU SOL

CHAPITRE 3 • ORGANISATION DES PARTICULES : STRUCTURE, AÉRATION	63
3.1 Origine des structures	64
3.1.1 État des « colloïdes » : formation des ciments	64
3.1.2 Structures construites, d'origine biologique	65
3.1.3 Structures à ciments d'origine chimique	65
3.1.4 Structures d'origine physique et mécanique (fragmentation)	65
3.2 Classification des structures	66
3.3 Aspect pratique : consistance et stabilité de la structure	67
3.3.1 Consistance	67
3.3.2 Stabilité de la structure	67
3.4 Microstructure	68
3.5 Contrôle de l'état de la structure : porosité	69
3.5.1 Indications données par la porosité : diagrammes de porosité	70
3.6 Atmosphère des sols : gaz libres et gaz dissous	73
3.6.1 Les gaz libres	74
3.6.2 Potentiel d'oxydo-réduction (Eh)	74
3.7 Applications : développement du système racinaire	76
3.7.1 La respiration des racines	77
3.7.2 Sols à horizons compactés	77
3.7.3 Sols à nappe d'eau superficielle	79
3.8 Influence des techniques culturales sur la structure et l'aération	79
CHAPITRE 4 • LE SOL ET L'EAU	81
4.1 Introduction : les formes de l'eau dans le sol	81
4.2 Potentiel hydrique et potentiel matriciel	83
4.3 Valeurs caractéristiques : notion d'eau utile	84
4.4 Mouvements de l'eau dans le sol	86
4.4.1 Mouvements descendants de l'eau de gravité : perméabilité	86
4.4.2 Mouvements ascendants d'eau capillaire en saison sèche	90
4.5 Bilans de l'eau, régime hydrique	92
4.6 Application : alimentation en eau des plantes	94
4.6.1 Mode d'utilisation de la RU par les plantes	94
4.6.2 Facteurs de l'alimentation en eau	96

CHAPITRE 5 • TEMPÉRATURE DU SOL ET PÉDOCLIMAT	99
5.1 Facteurs d'échauffement superficiel du sol : sols chauds et sols froids	99
5.2 La diffusion calorifique en profondeur : profils thermiques	100
5.3 Action de la température du sol et de ses variations	101
5.3.1 Action sur la pédogenèse	101
5.3.2 Action sur la végétation	102
5.4 Notion de pédoclimat	102
CHAPITRE 6 • COMPLEXE ABSORBANT ET PH DU SOL	104
6.1 Généralités - Définitions	104
6.2 Valeurs caractéristiques	105
6.2.1 Capacité d'échange (T ou CEC)	106
6.2.2 Cations basiques échangeables (S)	107
6.2.3 Taux de saturation (V ou S/T %)	108
6.3 L'acidité et le pH des sols : pouvoir tampon	109
6.3.1 Relations entre pH et le complexe absorbant	109
6.3.2 Variations saisonnières du pH et du taux de saturation	111
6.3.3 Le pouvoir tampon des sols	112
6.4 Rôle du complexe absorbant dans la nutrition des plantes	112
CHAPITRE 7 • LE SOL ET LA NUTRITION DES PLANTES	115
7.1 Formes des nutriments dans le sol	115
7.2 Importance relative des réserves minérales et organiques	117
7.2.1 Mise en valeur par la forêt	117
7.2.2 Mise en valeur par la culture	118
7.3 Rôle de la rhizosphère	119
7.3.1 Propriétés du milieu rhizosphérique	119
7.3.2 Influence de la rhizosphère sur la nutrition	119
7.4 Azote	120
7.4.1 Azote minéral assimilable	120
7.4.2 Réserves d'azote organique	121
7.4.3 Cycle de l'azote	122
7.4.4 Nutrition azotée des plantes vertes	124
7.5 Phosphore	126
7.5.1 L'absorption des ions phosphoriques : forme autodiffusible	126
7.5.2 Évolution des formes du phosphore	126
7.5.3 Nutrition en phosphore	127
7.6 Soufre	128
7.6.1 Nutrition en soufre	129

7.7	Cations basiques (Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺)	129
7.7.1	Réserves minérales	129
7.7.2	Réserves organiques : cycle biogéochimique	130
7.7.3	Nutrition minérale : rôle des équilibres ioniques	132
7.8	Oligo-éléments (éléments-trace)	133
7.8.1	Formation et mobilisation des réserves	134
7.8.2	Carence et toxicité	134

PARTIE 3

PÉDOGENÈSE ET CLASSIFICATION DES SOLS

CHAPITRE 8 • L'ÉVOLUTION DES SOLS : FACTEURS ET PROCESSUS	139
8.1 Définitions : cycle d'évolution	139
8.1.1 Évolution progressive	139
8.1.2 Évolution régressive et dégradation	143
8.2 Facteur temps : cycles courts et cycles longs	143
8.2.1 Cycles d'évolution et zones climatiques	143
8.2.2 Méthodes de mesure de l'âge des sols	145
8.2.3 Les cycles longs en climat tempéré	147
8.3 Facteurs écologiques et pédogenèse	151
8.3.1 Facteurs bioclimatiques généraux climat et végétation climatique	152
8.3.2 Facteurs de station	158
8.3.3 Facteur humain : dégradation	162
8.3.4 Conclusion : diversification des sols à l'intérieur d'une zone	164
8.4 Les processus fondamentaux de la pédogenèse	164
8.4.1 Définitions internationales des processus	165
8.4.2 Processus liés à l'humification	166
8.4.3 Processus conditionnés par de forts contrastes saisonniers	172
8.4.4 Processus à base d'altération géochimique	174
8.4.5 Processus liés aux conditions physico-chimiques de la station	176
8.4.6 Processus liés à l'action humaine : anthropisation	179
CHAPITRE 9 • SYSTÉMATIQUE DES SOLS	180
9.1 Les difficultés du problème	180
9.1.1 Évolution récente des conceptions	181
9.2 Questions préalables : horizons et nomenclature	183
9.2.1 Classification et désignation des horizons	183
9.2.2 Nomenclature	184
9.3 Les classifications hiérarchisées	186
9.3.1 Soil taxonomy	186
9.3.2 Classification de la société allemande de la science du sol	188

9.4	Les référentiels morphogénétiques	189
9.4.1	Référentiel issu de la classification CPCS	190
9.4.2	Référentiel WRB	192
9.5	Conclusion	195
CHAPITRE 10 • SOLS À FAIBLE ALTÉRATION CHIMIQUE		197
10.1	Sols peu évolués d'érosion ou d'apport (régosols, fluvisols, leptosols lithiques)	197
10.1.1	Sols d'érosion (régosols, leptosols lithiques)	198
10.1.2	Sols d'apport : sols alluviaux (fluvisols)	198
10.1.3	Sols d'apport : sols colluviaux	200
10.2	Sols des zones à climat extrême	201
10.2.1	Cryosols	201
10.2.2	Sols désertiques et subdésertiques (arénosols, calcisols, gypsisols)	201
CHAPITRE 11 • SOLS À ALTÉRATION BIOCHIMIQUE DOMINANTE		203
11.1	Sols humifères désaturés (leptosols umbriques, andosols)	203
11.1.1	Rankers	204
11.1.2	Sols cryptopodzoliques humifères	206
11.1.3	Andosols (andosols)	206
11.2	Sols calcimagnésiques (leptosols rendziques, unités calcariques)	209
11.2.1	Sols calcimagnésiques humifères : rendzines (leptosol rendzique)	210
11.2.2	Sols calcimagnésiques très humifères : sols humo-calcaires, humo-calciques (leptosols humiques)	212
11.2.3	Sols calcimagnésiques brunifiés (cambisol calcarique; calcisol haplique)	213
11.3	Sols brunifiés (cambisols, luvisols)	214
11.3.1	Sols bruns (cambisols)	215
11.3.2	Sols lessivés (luvisols)	218
11.4	Sols podzolisés (podzols)	221
11.4.1	Podzols non ou peu hydromorphes (podzols haplique, durique, humique)	223
11.4.2	Podzols hydromorphes (podzols de nappe) (podzols gleyiques)	225
CHAPITRE 12 • SOLS À PÉDOCLIMAT CONTRASTÉ		229
12.1	Sols mélanisés (chernozems, kastanozems, phæozems)	229
12.1.1	Sols mélanisés à complexe saturé (chernozems, kastanozems)	230
12.1.2	Sols mélanisés brunifiés (brunizems, phæozems)	232
12.1.3	Sols mélanisés fersiallitiques	232
12.2	Vertisols (vertisols)	234
12.2.2	Vertisols foncés (vertisols hapliques et calciques)	235
12.2.3	Sols vertiques chromiques (vertisols chromiques)	235
12.2.3	Pélosols vertiques (cambisols vertiques)	236
12.2.4	Mise en valeur des vertisols et pélosols vertiques	236

CHAPITRE 13 • SOLS À ALTÉRATION GÉOCHIMIQUE DOMINANTE	237
13.1 Sols fersiallitiques (luvisols, cambisols chromiques)	238
13.1.1 Sols rouges fersiallitiques (luvisols et cambisols rhodiques)	238
13.1.2 Sols bruns fersiallitiques (cambisols, luvisols chromiques)	240
13.1.3 Sols fersiallitiques acides (aliosols chromiques)	240
13.1.4 Mise en valeur des sols fersiallitiques	241
13.2 Sols ferrugineux (acrisols, lixisols)	241
13.2.1 Sols ferrugineux peu désaturés (lixisols)	242
13.2.2 Sols ferrugineux désaturés (acrisols)	243
13.3 Sols ferrallitiques (ferralsols)	243
13.3.1 Sols ferrallitiques meubles (ferralsols)	245
13.3.2 Sols ferrallitiques à concrétions et cuirasses (plinthosols pétriques)	246
13.3.3 Ferrallites (Oxydisols) (ferralsols gériques)	248
13.3.4 Mise en valeur des sols ferrugineux et ferrallitiques	248
CHAPITRE 14 • SOLS LIÉS AUX CONDITIONS PHYSICO-CHIMIQUES DE STATION	250
14.1 Sols hydromorphes (gleysols, histosols, planosols, unités stagniques)	251
14.1.1 Pseudogley à nappe perchée (unités stagniques)	251
14.1.2 Sols à hydromorphie capillaire (cambisol endostagnique)	254
14.1.3 Sols à nappe perchée durable : stagnogley (umbrisols stagniques)	254
14.1.4 Sols hydromorphes à contact textural abrupt : planosols	255
14.1.5 Sols à hydromorphie de profondeur : gley (gleysols)	256
14.1.6 Sols organiques anoxiques : tourbes (histosols)	258
14.2 Sols salsodiques (solontchaks, solonetz, unités thioniques)	260
14.2.1 Sols salins (solontchaks, fluvisols saliques)	262
14.2.2 Sols à sulfato-réduction (gleysols, fluvisols thioniques)	262
14.2.3 Sols alcalins (solonetz, unités alcaliques, carbonatiques)	263
14.2.4 Mise en valeur des sols salsodiques	264

PARTIE 4

APPLICATIONS DE LA SCIENCE DU SOL

CHAPITRE 15 • CARTOGRAPHIE DES SOLS ET DES STATIONS	267
15.1 Réalisation de la carte	268
15.1.1 Préparation et reconnaissance	268
15.1.2 Prospection systématique	269
15.2 Mise au point de la carte et de la notice	271
15.2.1 Choix des unités cartographiques	271
15.2.2 Méthodes de représentation	272
15.2.3 Notice explicative	273
15.3 Cartographie des stations (forêts)	273

CHAPITRE 16 • APPLICATIONS À LA MISE EN VALEUR DES SOLS	276
16.1 Bases de la fertilité des sols	276
16.2 La planification régionale	278
16.3 Mise en valeur par l'agriculture	280
16.3.1 Techniques conservatoires	280
16.3.2 Techniques correctives	281
16.4 Aménagement des forêts et espaces verts	281
16.4.1 Aménagements des forêts productrices de bois	281
16.4.2 Amélioration et protection des espaces verts	284
Conclusion	285
CHAPITRE 17 • LA PROTECTION DES SOLS ET DE L'ENVIRONNEMENT	286
17.1 Protection du sol contre les dégradations et l'érosion	287
17.1.1 Le processus de base : dégradation de la structure	287
17.1.2 L'érosion pluviale	289
17.1.3 Prise en masse (hardsetting)	294
17.1.4 Désertification	295
17.2 Protection de l'environnement contre les pollutions	299
17.2.1 Le sol, agent d'immobilisation des métaux toxiques	300
17.2.2 Le sol, milieu tampon : pluies acides	304
17.2.3 Le sol, transformateur biologique	307
17.2.4 Le sol ralentisseur de l'infiltration des solutions salines (nitrates)	307
17.2.5 Le sol, protecteur des eaux contre l'eutrophisation	311
17.2.6 Conclusion	311
17.3 Conclusion générale	311
BIBLIOGRAPHIE	311
INDEX	311

SCIENCES SUP

Philippe Duchaufour
Préface de Winfried E. H. Blum

INTRODUCTION À LA SCIENCE DU SOL

Sol, végétation, environnement

Cet ouvrage, entièrement révisé et actualisé, présente une synthèse des différents aspects de la science du sol. Il met en évidence que les propriétés du sol actuel ne peuvent se comprendre que par la connaissance de son histoire, c'est-à-dire l'étude des divers processus qui ont contribué à sa formation.

La première partie porte sur l'étude des constituants minéraux et organiques du sol et de leurs interactions réciproques à l'origine des spécificités du sol. La deuxième est une présentation des propriétés globales du sol et des différents aspects (physiques, chimiques) qui conditionnent la nutrition des plantes. La troisième partie s'intéresse à la dynamique des profils pédologiques. La quatrième traite des applications de la science du sol. Elle tente de répondre à deux importantes questions : Comment mettre en valeur un sol ? Comment protéger un sol et donc un paysage contre les nombreuses agressions dont il est l'objet ?

Ce livre, destiné aux étudiants en Master (sciences de la Terre, écologie et biologie végétale), sera également utile aux élèves ingénieurs et aux candidats aux concours d'enseignement. Il intéressera aussi les professionnels de l'aménagement du territoire et de la protection des milieux naturels.



6^e édition

PHILIPPE
DUCHAUFOUR
professeur honoraire
de l'université Nancy I,
fut également membre
de l'Académie
d'Agriculture de France.

MATHÉMATIQUES

PHYSIQUE

CHIMIE

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

INFORMATIQUE

SCIENCES DE LA VIE

SCIENCES DE LA TERRE



6455620

ISBN 978-2-10-048390-7



www.dunod.com

