

ANDRÉ MUSY
MARC SOUTTER

Physique du sol



TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS	IX
--------------------	----

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

1.1	Science du sol et physique du sol	1
1.1.1	Généralités	1
1.1.2	Variabilité temporelle des constituants du sol	2
1.1.3	Variabilité spatiale des constituants du sol	3
1.1.4	Méthodologie	3
1.1.5	Objectifs de la physique du sol	4
1.1.6	Organisation du présent ouvrage	4
1.2	Description générale du sol	5
1.2.1	Relations fondamentales	5
1.2.2	Caractéristiques intrinsèques	6
1.2.3	Caractéristiques relatives	6

CHAPITRE 2 PHASE SOLIDE

2.1	Introduction	9
2.2	Composition de la phase solide	10
2.2.1	Généralités	10
2.2.2	La fraction minérale	10
2.2.3	La fraction organique	17
2.3	Organisation de la phase solide	19
2.3.1	Généralités	19
2.3.2	Description de la structure	20
2.3.3	Les espaces lacunaires	22
2.4	Caractéristiques globales de la phase solide	23
2.4.1	Généralités	23
2.4.2	Caractéristiques intrinsèques	24
2.4.3	Caractéristiques relatives	24

CHAPITRE 3 PHASE LIQUIDE

3.1	Introduction	27
3.2	Propriétés	28
3.2.1	L'eau	28
3.2.2	La solution du sol	45
3.3	Caractéristiques	49
3.3.1	Caractéristiques globales	49
3.3.2	Etat énergétique	53
3.3.3	Relations entre taux d'humidité et potentiel de pression	63
3.4	Dynamique en milieu saturé	73
3.4.1	Principes des écoulements en milieu saturé	73
3.4.2	Loi de comportement dynamique	77
3.4.3	Equation de continuité	84
3.4.4	Equation générale des écoulements en milieu saturé	86
3.5	Dynamique en milieu non saturé	87
3.5.1	Principes des écoulements en milieu non saturé	87
3.5.2	Loi de comportement dynamique	88
3.5.3	Equation de continuité	92
3.5.4	Equations générales des écoulements non saturés	93
3.5.5	Applications pratiques	95
3.6	Déformabilité, anisotropie et hétérogénéité	101
3.6.1	Généralités	101
3.6.2	Déformabilité du sol	102
3.6.3	Hétérogénéité et anisotropie de la phase solide	108
3.6.4	Hétérogénéité de la phase liquide – transferts de solutés	116

CHAPITRE 4 PHASE GAZEUSE

4.1	Introduction	123
4.2	Propriétés de la phase gazeuse	123
4.2.1	Caractéristiques et propriétés des gaz	123
4.2.2	L'air du sol	131
4.3	Caractéristiques de la phase gazeuse	133
4.3.1	Généralités	133
4.3.2	Caractéristiques globales de la phase gazeuse	134
4.3.3	Etat énergétique de la phase gazeuse	134
4.4	Dynamique de la phase gazeuse	137
4.4.1	Généralités	137
4.4.2	Dynamique globale de la phase gazeuse	137
4.4.3	Dynamique d'une composante de la phase gazeuse	139
4.5	Écoulement biphasique	141

4.5.1	Généralités	141
4.5.2	Equations dynamiques	141
4.5.3	Equation de continuité	144
4.5.4	Equation générale	145
4.6	Aération du sol	145
4.6.1	Ordre de grandeur des échanges gazeux dans le sol	145
4.6.2	Besoins des cultures	146
4.6.3	Limitations et améliorations de l'aération du sol	148

CHAPITRE 5 THERMIQUE DU SOL

5.1	Introduction	149
5.2	Propriétés thermiques et transferts de chaleur	150
5.2.1	Caractéristiques et propriétés thermiques du sol	150
5.2.2	Lois dynamiques	152
5.2.3	Equation de continuité	156
5.2.4	Equation générale	156
5.3	Bilan énergétique	157
5.3.1	Les échanges radiatifs	157
5.3.2	Les échanges de chaleur	161
5.3.3	Formulation du bilan énergétique	162
5.4	Régime thermique	163
5.4.1	Cycles de variations thermiques	163
5.4.2	Modifications du régime thermique	166

CHAPITRE 6 DYNAMIQUE DE LA STRUCTURE

6.1	Introduction	169
6.2	Dynamique naturelle	170
6.2.1	Généralités	170
6.2.2	Facteurs affectant l'évolution structurale	170
6.2.3	Stabilité structurale	172
6.2.4	Le cas particulier des tourbes drainées	174
6.3	Dynamique liée aux activités humaines	178
6.3.1	Comportement rhéologique des sols	178
6.3.2	Les contraintes	182
6.3.3	Les tassements	185
6.4	Régénération de la structure du sol	187

CHAPITRE 7 PLANTES ET SOL

7.1	Introduction	189
7.2	Les végétaux supérieurs	190

7.2.1	Métabolisme	190
7.2.2	Morphologie et physiologie	194
7.3	L'eau et la cellule végétale	197
7.3.1	La cellule végétale	197
7.3.2	Comportement hydrique de la cellule végétale	199
7.4	Dynamique de l'eau dans la plante	203
7.4.1	Généralités	203
7.4.2	L'absorption racinaire	204
7.4.3	La circulation dans le système vasculaire	206
7.4.4	La transpiration	208
7.4.5	Comportement hydrique global	211

CHAPITRE 8 BILAN HYDRIQUE

8.1	Introduction	213
8.2	L'infiltration	215
8.2.1	Principes de l'infiltration	215
8.2.2	Formulation analytique du processus d'infiltration	220
8.3	La redistribution	226
8.3.1	Principes de la redistribution	226
8.3.2	Formulation analytique du processus de redistribution	228
8.4	L'évapotranspiration	230
8.4.1	Principes de l'évapotranspiration	230
8.4.2	Formulation analytique de l'évapotranspiration	233

ANNEXE I	MÉTHODES DE MESURE	241
----------	--------------------------	-----

ANNEXE II	NOTIONS DE THERMODYNAMIQUE	273
-----------	----------------------------------	-----

ANNEXE III	PRINCIPES DE RÉOLUTION NUMÉRIQUE DE L'ÉQUATION DE RICHARDS	291
------------	---	-----

ANNEXE IV	QUELQUES EXERCICES	305
-----------	--------------------------	-----

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	321
-----------------------------------	-----

NOTATIONS : SYMBOLES ET UNITÉS	323
--------------------------------------	-----

INDEX ANALYTIQUE	331
------------------------	-----