

Mécanique et Ingénierie des Matériaux

Géomécanique environnementale sols pollués et déchets



sous la direction de

Pierre Delage
Bernard Schrefler

hermes

Lavoisier

Table des matières

Introduction	15
Pierre DELAGE et Bernard SCHREFLER	
Chapitre 1. Nature et reconnaissance de la pollution des sols	17
Abdelmalek BOUAZZA, Pierre DELAGE, Michel WOJNAROWICZ	
1.1. Introduction	17
1.2. Nature de la pollution des sols	18
1.3. Reconnaissance des sites pollués	24
1.3.1. Echantillonnage	26
1.3.1.1. Echantillonnage au hasard	27
1.3.1.2. Echantillonnage régulier	28
1.3.2. Méthodes de reconnaissance géotechnique	31
1.3.2.1. Pénétrömètre à cône avec mesure de résistivité électrique	32
1.3.2.2. Mesure d'impédance à haute fréquence de la constante diélectrique	34
1.3.2.3. Pénétrömètres à cône à fibres optiques	35
1.3.2.4. Pénétrömètre à cône visuel	41
1.3.2.5. Autres utilisations du CPT	41
1.3.3. Méthodes géophysiques	43
1.4. Conclusion	44
1.5. Bibliographie	45
Chapitre 2. Rétenion et transfert des polluants chimiques solubles : mécanismes et modélisation numérique	51
Robert CHARLIER et Jean-Pol RADU	
2.1. Introduction	51
2.2. Transport d'un polluant idéal dans un milieu continu idéal	52

2.2.1. Equations de l'écoulement	52
2.2.2. Lois de transport : advection	53
2.2.3. Lois de transport : dispersion	53
2.2.4. Lois de transport : diffusion	55
2.2.5. Lois de transport : synthèse	56
2.3. Phénomènes de rétention de polluant	56
2.4. Equations de bilan	59
2.5. Modélisation numérique du transport par advection	61
2.6. Modélisation en éléments finis du problème avec advection et diffusion	62
2.6.1. Méthode de Galerkin	62
2.6.2. Cas unidimensionnel	63
2.6.3. Méthode de Petrov-Galerkin	66
2.6.4. Problèmes transitoires	68
2.6.5. Généralisation à 2 et 3 dimensions	69
2.6.6. Méthodes associant les caractéristiques et la méthode de Galerkin	69
2.7. Exemples et applications	70
2.7.1. Propagation unidimensionnelle d'un pulse de polluant	71
2.7.2. Problème de référence bidimensionnel	72
2.7.3. Détermination d'une zone de protection autour d'un puits de pompage	74
2.7.4. Test de traçage <i>in situ</i>	75
2.8. Conclusion	78
2.9. Table des notations	79
2.10. Bibliographie	80

Chapitre 3. Rétention et transfert des pollutions des sols par les éléments traces-métaux lourds : mécanismes et modélisation numérique

Jean-Paul GAUDET et Michel VAUCLIN

3.1. Introduction	81
3.2. Ecoulement de l'eau en milieux poreux	83
3.2.1. Le milieu poreux et l'écoulement en sol non saturé	83
3.2.2. Les caractéristiques hydriques d'un sol non saturé	84
3.3. Transfert d'espèces chimiques en milieux poreux	85
3.3.1. Les concentrations dans les différentes phases	85
3.3.2. Le transport de solutés dans les sols	85
3.3.3. Les réactions et interactions chimiques	87
3.3.3.1. Isotherme d'adsorption linéaire	87
3.3.3.2. Adsorption linéaire et cinétique du premier ordre	88
3.3.3.3. Adsorption non linéaire	88

3.3.4. Biotransformations dans la phase liquide	89
3.3.5. Cas où l'eau ne s'écoule pas avec une vitesse moyenne uniforme v	91
3.3.5.1. Modèle de l'eau mobile-immobile (MIM) pour un traceur	91
3.3.5.2. Modèle de l'eau mobile-immobile (MIM) pour un soluté interactif	92
3.4. Evolution d'un mélange réactionnel	92
3.4.1. Stœchiométrie et systèmes de réactions	93
3.4.2. Résolution des systèmes	94
3.4.3. Un exemple	95
3.5. Identification des mécanismes en systèmes contrôlés	96
3.5.1. Colonne de laboratoire ou lysimètre de terrain	96
3.5.2. Courbes de percée et calculs des moments temporels	97
3.5.3. Méthodologie d'identification des mécanismes et de chiffrage des coefficients	99
3.5.3.1. Utilisation de traceurs	99
3.5.3.2. Soluté adsorbé sur sol stérile	101
3.5.3.3. Modèle géochimique, écoulement d'eau transitoire et simplifications	103
3.5.3.4. Biotransformations	104
3.5.3.5. Autres mécanismes ?	105
3.6. Conclusion	105
3.7. Table des notations	106
3.8. Bibliographie	107

Chapitre 4. Rétenion et transfert des pollutions par hydrocarbures : mécanismes et modélisation numérique

Bernard SCHREFLER et Pierre DELAGE

4.1. Introduction	111
4.2. Mécanismes	112
4.3. Modélisation numérique	117
4.3.1. Le modèle physique	118
4.3.2. Le modèle mathématique	121
4.3.3. Le modèle numérique et sa solution	123
4.3.4. Pollution transportée par l'eau ou par l'air	124
4.3.5. Exemples	126
4.3.5.1. Compactage d'un réservoir de pétrole	126
4.3.5.2. Polluant immiscible	130
4.3.5.3. Transfert des pollutions dans l'eau et dans l'air	131

4.4. Conclusion	134
4.5. Bibliographie	135

Chapitre 5. Méthodes de dépollution 137

Abdelmalek BOUAZZA, Michel WOJNAROWICZ, Mario MANASSERO

5.1. Introduction	137
5.2. Techniques de dépollution	138
5.3. Confinement actif <i>in situ</i>	140
5.3.1. Traitement par pompage (<i>pump and treat</i>)	140
5.3.2. Barrières réactives (faible perméabilité)	142
5.4. Traitement passif <i>in situ</i>	144
5.4.1. Atténuation naturelle	144
5.4.2. Barrières réactives (perméabilité élevée)	146
5.5. Traitement actif <i>in situ</i>	148
5.5.1. Technologies d'immobilisation (inertage)	148
5.5.1.1. Solidification/stabilisation	148
5.5.1.2. Vitrification	153
5.5.1.3. Neutralisation	154
5.5.2. Technologies d'extraction	155
5.5.2.1. Extraction sous vide	155
5.5.2.2. Bioventilation	160
5.5.2.3. Injection d'air (<i>air sparging</i>)	161
5.5.2.4. <i>Stripping in situ</i> /en colonne	163
5.5.2.5. Pompage ou extraction triphasique	163
5.5.2.6. Vaporisation – aspiration par puits	164
5.5.2.7. Lavage des sols <i>in situ</i> (<i>flushing</i>)	164
5.5.2.8. Extraction électrique	167
5.5.3. Incinération	168
5.5.4. Excavation/mise en décharge	169
5.5.5. Biodégradation <i>in situ</i>	169
5.5.6. Phytoremédiation	171
5.6. Conclusion	173
5.7. Bibliographie	174

Chapitre 6. Politique de gestion des déchets 179

Hervé MAZEAS

6.1. Introduction	179
6.2. Définition et nomenclature	181
6.3. Le gisement de déchets en France	181
6.3.1. Les déchets ménagers et assimilés	182

6.3.2. Les déchets municipaux	183
6.3.3. Les déchets industriels	183
6.3.4. Les déchets agricoles	184
6.4. Les collectes des déchets	185
6.5. Le centre de tri	186
6.6. Le compostage	187
6.7. Incinération et valorisation énergétique	188
6.8. Les centres de stockages de déchets	189
6.9. La gestion des déchets industriels dangereux	191
6.10. Les sols pollués	191
6.11. Conclusion	192
6.12. Bibliographie	193

Chapitre 7. Barrières de confinement des centres de stockage des déchets

Mario MANASSERO et Abdelmalek BOUAZZA	195
7.1. Introduction	195
7.2. Types de dispositifs d'étanchéités et définition des composantes de base	198
7.3. Bilan massique des contaminants	200
7.4. Fonctions, comportement et modélisations	202
7.5. Evaluation des incidences sur l'environnement – Analyse de risque	203
7.6. Barrières d'étanchéité des fonds de décharge	206
7.6.1. Conductivité hydraulique sur site	207
7.6.2. Compatibilité chimique	211
7.6.3. Dessèchement	212
7.6.4. Paramètres de sorption	214
7.6.5. Paramètres de dispersion-diffusion	215
7.7. Etanchéité équivalente	219
7.8. Etanchéité composite	228
7.9. Conclusion	239
7.10. Table des notations	240
7.11. Bibliographie	241
Index	247