



**Le
traitement
des
e a u x**

2^e édition revue et améliorée

Raymond Desjardins

Éditions de l'École Polytechnique de Montréal

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS	III
LISTE DES SYMBOLES	XI
Chapitre 1	
GÉNÉRALITÉS ET NORMES	1
1.1 Introduction	1
1.1.1 Importance du traitement des eaux	1
1.1.2 Historique du traitement des eaux	2
1.2 Qualités générales des eaux issues de diverses sources d'approvisionnement	3
1.2.1 Eaux de pluie	3
1.2.2 Eaux de surface	3
1.2.3 Eaux souterraines	6
1.2.4 Eaux de mer	6
1.3 Normes de qualité	7
1.3.1 Normes microbiologiques	8
1.3.2 Normes et recommandations pour les paramètres physiques et chimiques	9
1.4 Lignes directrices pour le traitement des eaux	12
Chapitre 2	
MICROTAMISAGE	17
2.1 Introduction	17

2.2	Aspects théoriques du microtamisage	18
2.2.1	Indice de filtrabilité d'une eau	18
2.2.2	Évolution des pertes de charge	20
2.3	Durée d'utilisation d'un microtamis entre deux lavages	21
2.3.1	Microtamis à nettoyage manuel	23
2.3.2	Microtamis à nettoyage automatique	23
2.4	Critères de choix d'un microtamis	26
Chapitre 3		
COAGULATION ET FLOCCULATION		27
3.1	Introduction	27
3.2	Particules en suspension	28
3.2.1	Taille des particules en suspension	28
3.2.2	Affinité des particules colloïdales pour l'eau	28
3.2.3	Charges électriques et double couche	29
3.3	Coagulation	31
3.3.1	Compression de la double couche	31
3.3.2	Adsorption et neutralisation des charges	32
3.3.3	Emprisonnement des particules dans un précipité	33
3.3.4	Adsorption et pontage	33
3.3.5	Coagulants utilisés	34
3.3.6	Facteurs influençant la coagulation	35
3.4	Théorie de la floculation	38
3.4.1	Floculation péricinétique	39
3.4.2	Floculation orthocinétique	40
3.4.3	Types de flocculateurs	41
Chapitre 4		
DÉCANTATION		47
4.1	Introduction	47
4.2	Types de décantation	47
4.3	Décantation de particules discrètes: type I	48
4.3.1	Principes de base	49
4.3.2	Bassin de décantation idéal	52
4.3.3	Influence des courants de densité	57
4.4	Décantation de particules flocculantes: type II	58
4.4.1	Principes de base	58
4.4.2	Essai de décantation en colonne	59

4.5	Décanteurs à tubes et à lamelles	65
4.5.1	Décanteurs à tubes	66
4.5.2	Décanteurs à lamelles	68
Chapitre 5		
FILTRATION		71
5.1	Généralités	71
5.1.1	Buts de la filtration	71
5.1.2	Matériaux des filtres	71
5.1.3	Types de filtres	72
5.2	Caractéristiques des matériaux filtrants	72
5.2.1	Diamètre effectif et coefficient d'uniformité	72
5.2.2	Densité relative du sable	75
5.2.3	Masse unitaire sèche	76
5.2.4	Porosité	76
5.3	Écoulement de l'eau dans un filtre à sable	77
5.3.1	Équation de Carman-Kozeny	78
5.3.2	Équation de Rose	82
5.3.3	Écoulement vers le haut à travers un milieu granuleux	89
5.4	Filtres à sable rapides	93
5.4.1	Fonctionnement d'un filtre à sable rapide	96
5.4.2	Variation de la turbidité et des pertes de charge	97
5.4.3	Optimisation de l'utilisation d'un filtre	101
5.4.4	Lavage des filtres	102
5.5	Filtres à sable lents, filtres sous pression et filtres à terre diatomée	106
5.5.1	Filtres à sable lents	106
5.5.2	Filtres sous pression	108
5.5.3	Filtres à terre diatomée	108
Chapitre 6		
DÉSINFECTION		111
6.1	Introduction	111
6.1.1	Critères permettant de choisir le désinfectant	111
6.2	Principes généraux de la désinfection	113
6.2.1	Loi de Chick	113
6.2.2	Influence du temps de contact	114
6.2.3	Influence de la concentration de désinfectant	115
6.2.4	Influence de la température de l'eau	115
6.3	Désinfection par le chlore	117
6.3.1	Définitions	117
6.3.2	Aspects chimiques de la chloration	118

6.3.3	Réactions du chlore avec l'azote	120
6.3.4	Chloration au point critique	123
6.3.5	Comparaison entre les pouvoirs désinfectants de différents dérivés du chlore	124
6.3.6	Déchloration	125
6.4	Désinfection par le dioxyde de chlore	127
6.4.1	Propriétés chimiques et physiques du dioxyde de chlore	128
6.4.2	Réactions chimiques du dioxyde de chlore	128
6.4.3	Pouvoir désinfectant du dioxyde de chlore	129
6.4.4	Procédés de production du dioxyde de chlore	129
6.5	Désinfection par l'ozone	129
6.5.1	Propriétés physiques de l'ozone	130
6.5.2	Propriétés chimiques de l'ozone	130
6.5.3	Procédés de production de l'ozone	131
Chapitre 7		
	ADOUCCISSEMENT PAR PRÉCIPITATION	133
7.1	Introduction	133
7.1.1	Origine de la dureté	134
7.1.2	Types de dureté	135
7.1.3	Expression de la dureté	137
7.2	Procédés d'adoucissement par précipitation	141
7.2.1	Procédé par addition de chaux seulement	142
7.2.2	Procédé par addition de chaux et de soude	148
7.2.3	Procédé par addition d'un excès de chaux	158
7.2.4	Procédé par addition d'un excès de chaux et de soude	174
Chapitre 8		
	ADSORPTION ET ÉCHANGES D'IONS	181
8.1	Introduction	181
8.2	Adsorption	181
8.2.1	Caractéristiques du charbon activé	181
8.3	Isothermes d'adsorption	183
8.3.1	Isotherme d'adsorption de Langmuir	183
8.3.2	Isotherme d'adsorption de Freundlich	188
8.3.3	Isotherme d'adsorption de Brunauer-Emmett-Teller (BET)	189
8.4	Échange d'ions	190
8.5	Types de résines échangeuses d'ions	192
8.5.1	Résines échangeuses de cations	192
8.5.2	Résines échangeuses d'anions	194
8.6	Considérations d'ordre pratique	195

Chapitre 9	
ÉLIMINATION DU FER ET DU MANGANÈSE	199
9.1 Introduction	199
9.2 Équilibre du fer et du manganèse dans l'eau	200
9.2.1 Complexes du fer et du manganèse	201
9.2.2 Diagrammes de stabilité du fer et du manganèse	202
9.3 Procédés de déferrisation et de démanganisation	205
9.3.1 Procédés d'oxydation	205
9.3.2 Précipitation sous forme de carbonates	209
9.3.3 Échangeurs d'ions	210
Chapitre 10	
STABILISATION DE L'EAU	211
10.1 Introduction	211
10.2 <i>pH</i> d'équilibre	211
10.2.1 Activités et concentrations des ions	212
10.2.2 Équation du <i>pH</i> d'équilibre	213
10.2.3 Indices d'appréciation d'une eau	217
10.3 Modèles graphiques	219
10.3.1 Diagramme de Lawrence-Caldwell	219
10.3.2 Diagramme de Legrand-Poirier	224
Chapitre 11	
FLUORURATION ET DÉFLUORURATION DES EAUX	231
11.1 Introduction	231
11.2 Fluoruration des eaux	232
11.2.1 Concentration optimale d'ions fluorures	232
11.2.2 Produits chimiques générant des ions fluorures	232
11.3 Défluoruration des eaux	235
11.3.1 Méthodes de défluoruration	235
Chapitre 12	
DESSALEMENT DES EAUX SAUMÂTRES ET DES EAUX DE MER	241
12.1 Introduction	241
12.1.1 Classification des eaux	242
12.1.2 Analyse d'une eau de mer	242
12.2 Méthodes de dessalement des eaux de mer	242
12.2.1 Quantité d'énergie requise pour le dessalement	243

12.3	Dessalement par distillation	244
12.3.1	Distillation solaire	246
12.4	Dessalement par congélation	247
12.5	Dessalement par électrodialyse	248
12.6	Dessalement par osmose inverse	250
PROBLÈMES		253
Chapitre 1	.....	253
Chapitre 2	.....	253
Chapitre 3	.....	255
Chapitre 4	.....	257
Chapitre 5	.....	261
Chapitre 6	.....	262
Chapitre 7	.....	264
Chapitre 8	.....	269
Chapitre 9	.....	270
Chapitre 10	.....	271
Chapitre 11	.....	273
Chapitre 12	.....	274
BIBLIOGRAPHIE		277
INDEX		293