

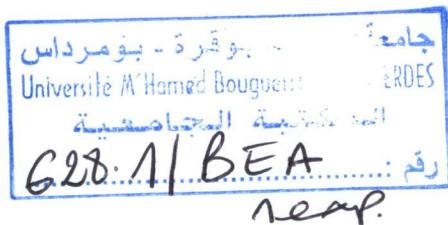
TRAITEMENT DES EAUX

JEAN-PAUL BEAUDRY

Première édition revue et corrigée



TRAITEMENT DES EAUX



Jean-Paul BEAUDRY, professeur
Collège de Saint-Laurent

Ouvrage conçu sous la responsabilité
du Collège de Saint-Laurent avec la collaboration
de la Direction générale des moyens d'enseignement
du ministère de l'Éducation



TABLE DES SUJETS

CHAPITRE 1 — LES BESOINS EN EAU

1.	Historique	1
2.	Les modes d'utilisation de l'eau	2
2.1	Les besoins agricoles	3
2.2	Les besoins industriels	4
2.3	Les besoins des agglomérations urbaines	4
2.4	Les variations dans la consommation	7
2.4.1	La variation journalière	7
2.4.2	La variation hebdomadaire	8
2.4.3	La variation saisonnière	8
2.4.4	Les débits-incendie	8
2.5	La pression dans les réseaux	9
3.	Les besoins en qualité	9
3.1	Les normes canadiennes	10
3.1.1	Les normes de qualité bactériologique	10
3.1.2	Les normes de qualité organoleptique et physique	10
3.2	Normes de qualité chimique: substances toxiques	11
3.3	Normes de qualité chimique: substances indésirables	13
3.4	Normes portant sur les radionucléides	13
	Exercices de calcul	14
	Références	15

CHAPITRE 2 — APERÇU GÉNÉRAL DES TRAITEMENTS

1.	La qualité des eaux brutes	17
1.1	Les eaux de surface	17
1.2	Les eaux souterraines	18
1.3	L'eau de mer	18
1.4	Les eaux industrielles recyclées	18
2.	Les objectifs des traitements	18
3.	Les procédés de purification disponibles	19
4.	Les chaînes de traitement usuelles	19
4.1	Traitements des eaux de surface	19
4.2	Traitements des eaux souterraines	22
4.3	Traitements des eaux de chaudière	22
	Références	22

CHAPITRE 3 — LES PRÉTRAITEMENTS

1.	La décantation préliminaire	23
1.1	Mise en évidence	23
1.2	La sédimentation de particules grenues	24
1.2.1	L'équation de Stokes	25
1.2.2	L'équation de Newton	26
1.2.3	L'équation du cas intermédiaire	26
1.3	Calcul de la vitesse de chute d'une particule de diamètre connu	26
1.4	Particules moins denses que le milieu: flottation	28
1.5	Calcul de la taille d'une particule dont la vitesse de chute est connue	29
1.6	Hypothèses sous-jacentes	29
1.7	Le cas des centrifugeuses et cyclones	30
1.8	Quelques conclusions utiles	30
1.9	Théorie du décanteur parfait	30
1.10	Le décanteur réel	33
1.11	Mise en oeuvre de la décantation préliminaire	34

2.	Dégrossissage et tamisage	35
3.	Le microtamisage	36
4.	L'aération	37
	Exercices de calcul	38
	Références	39

CHAPITRE 4 — LA CLARIFICATION: LES COAGULANTS ET LES FLOCULANTS

1.	Préambule	41
2.	L'état colloïdal	42
2.1	Les colloïdes hydrophobes	42
2.1.1	Mise en évidence de la charge	42
2.1.2	Théorie de la double couche	42
2.1.3	Les forces de cohésion et l'adsorption	44
2.1.4	Déstabilisation d'une suspension colloïdale	45
2.2	Les particules hydrophiles	46
3.	Coagulation et floculation	47
4.	Le sulfate d'aluminium	47
4.1	Propriétés pertinentes du sulfate d'aluminium liquide	48
4.2	Réactions du sulfate d'aluminium avec l'eau	48
4.3	Action du sulfate d'aluminium sur les colloïdes hydrophobes	51
4.4	Action du sulfate d'aluminium sur les matières humiques et autres colloïdes hydrophiles	52
5.	Les sels ferriques	53
6.	Les polyélectrolytes cationiques	53
7.	Les conditions physico-chimiques nécessaires à une bonne coagulation	54
8.	Les essais de floculation ou <i>jar tests</i>	55
9.	Adjuvants de coagulation et de floculation	55
9.1	Argile et autres minéraux	55
9.2	La silice activée	55
9.3	Les polyélectrolytes	56
Annexe I	— Essais de floculation (<i>jar tests</i>) mode opératoire	59
Annexe II	— Préparation de la silice activée	61
	Exercices de calcul	63
	Références	64

CHAPITRE 5 — CLARIFICATION: LES APPAREILLAGES ET LEUR EXPLOITATION

1.	Préambule	65
2.	Chaîne classique d'appareillages	65
2.1	Chambre de mélange ou coagulateur	65
2.2	Floculateur	66
2.2.1	Floculateur à chicanes	67
2.2.2	Floculateur à brassage mécanique	68
2.2.3	Contrôle du degré de brassage: l'indice <i>G</i>	68
2.3	Bassin de décantation	73
2.3.1	Sédimentation des matières flokulées	73
2.3.2	Calcul des décanteurs	74
2.3.3	Exploitation et entretien	75
3.	Clarificateurs à contact de boues	75
3.1	Clarificateurs à recirculation de boues	76
3.2	Clarificateurs à lits de boues	76
3.3	Exploitation	76

4. Décantation lamellaire	77
Annexe 1 — Mesure de la vitesse de sédimentation	79
Annexe 2 — Étude du comportement hydraulique d'un décanteur à l'aide d'un traceur	80
Exercices de calcul	81
Références	82

CHAPITRE 6 — LA FILTRATION

1. Généralités	83
2. La filtration lente	83
3. La filtration rapide	84
3.1 Description générale du filtre rapide classique	84
3.2 Caractéristiques des matériaux filtrants	85
3.2.1 La granulométrie des matériaux filtrants	86
3.2.2 La porosité	88
3.2.3 La perméabilité	89
3.3 La couche support et le faux plancher	90
3.4 Comportement du lit filtrant	91
3.4.1 La perte de charge	91
3.4.2 Le filtrage: mécanismes en jeu	92
3.5 Le lavage du lit filtrant	94
3.5.1 Le lavage de surface et le lavage à contre-courant	94
3.5.2 Effet de la température de l'eau	95
3.5.3 Durée de lavage	95
3.5.4 Conséquence du lavage: le classement	96
3.5.5 Lavage à l'eau et à l'air	96
3.5.6 Rincage, ou filtrage à l'égout	96
3.5.7 Perte de charge dans le lit en expansion	96
3.5.8 Conséquences d'un lavage inefficace	97
4. Filtres à grand débit	97
4.1 Lit filtrant homogène, de forte granulométrie	97
4.2 Lits multi-couches	98
4.3 Filtration avec flocculation sur filtre	100
5. Exploitation des filtres	100
5.1 Régulation du débit	100
5.2 Opération du filtre: le cycle complet	101
5.3 Difficultés et correctifs	102
5.3.1 Mesure du volume des agglomérats	102
5.3.2 Nettoyage chimique	102
Exercices de calcul	103
6. Références	104

CHAPITRE 7 — OXYDATION ET DÉSINFECTION

Préambule	105
1. La chloration	106
1.1 Le chlore: nature et propriétés physiques	106
1.2 Toxicité du chlore	106
1.3 Propriétés chimiques du chlore	107
1.3.1 Caractère chimique du chlore	108
1.3.2 Réactions du chlore avec l'eau	109
1.3.3 Réactions du chlore libre avec les réducteurs minéraux	112
1.3.4 Réactions du chlore avec les contaminants organiques	113
1.3.5 La demande de chlore	114
1.4 La désinfection	114
1.4.1 Action germicide du chlore libre	114
1.4.2 Action germicide du chlore combiné	115
1.5 La suppression d'autres micro-organismes par le chlore	115

1.6	Les normes gouvernementales	115
1.7	Appareillages	115
1.7.1	Le réservoir de chlore liquide	116
1.7.2	Le chlorateur	118
1.7.3	Le réseau de distribution de l'eau chlorée	120
1.7.4	Mise en marche des appareillages	120
1.8	Les modes de chloration	120
1.8.1	La chloration simple	121
1.8.2	La chloration au point critique	121
1.8.3	La surchloration	122
1.8.4	La chloramination	122
1.8.5	L'emploi de l'hypochlorite de sodium	122
2.	L'utilisation du dioxyde de chlore	123
2.1	Nature et caractéristiques	123
2.2	Mode de préparation et d'emploi	123
2.3	Précaution à prendre dans la manipulation du chlorite de sodium solide	124
3.	L'ozoneation de l'eau	125
3.1	Nature et caractéristiques de l'ozone	125
3.2	Propriétés chimiques	126
3.3	Toxicité de l'ozone	127
3.4	Action germicide de l'ozone	127
3.5	Appareillage	127
3.5.1	L'ozoneur	128
3.5.2	La chaîne complète des appareils	128
4.	Désinfection par rayonnement ultra-violet	130
Annexe —	Manutention du chlore: comportement en cas d'urgence	131
Exercices de calcul	132	
Références	133	

CHAPITRE 8 — TRAITEMENTS DE CORRECTION ET D'AFFINAGE

Préambule	135	
1.	Relèvement du <i>pH</i> et lutte contre la corrosion	135
1.1	Niveau de <i>pH</i> requis	135
1.2	Agents de correction utilisés	138
1.2.1	La chaux	139
1.2.2	Le carbonate de sodium	140
1.2.3	La soude caustique	141
1.3	Exemple de calcul	141
1.4	Autres adjoints de conditionnement contre la corrosion	143
2.	Adsorption par le charbon actif	143
2.1	Nature de l'adsorption	144
2.2	Préparation et propriétés du charbon actif	144
2.3	Action du charbon actif	145
2.4	Équilibre statique: la courbe d'adsorption	145
2.5	Emploi du charbon actif pulvérulent	146
2.6	Emploi du charbon actif granulé	147
3.	Fluoruration de l'eau	149
3.1	Nature et objectif	149
3.2	Normes et recommandations	149
3.3	Composés utilisés	149
3.4	Point d'injection	150
3.5	Mode d'application	150
Exercices de calcul	151	
Références	153	

CHAPITRE 9 — PRÉCIPITATION CHIMIQUE, ÉCHANGE IONIQUE ET EAUX DE CHAUDIÈRE

1.	Précipitations chimiques	155
1.1	Adoucissement par précipitation chimique	155
1.1.1	Principe	155
1.1.2	Adoucissement maximal: calcul des dosages	157
1.1.3	Élimination de la silice	158
1.1.4	Appareillage	158
1.1.5	Stabilisation de l'eau: correction du pH	158
1.2	Déferrisation	158
1.2.1	Quelques propriétés pertinentes des composés du fer	158
1.2.2	Méthodes de déferrisation	159
1.3	Démanganisation	159
2.	Échange ionique	160
2.1	Mise en évidence	160
2.2	Classement des échangeurs de synthèse	161
2.2.1	Échangeurs cationiques fortement acides	161
2.2.2	Échangeurs cationiques faiblement acides	161
2.2.3	Échangeurs anioniques fortement basiques	161
2.3	Équilibre statique	161
2.4	Aspects cinétiques	162
2.5	Utilité et modes d'emploi	162
2.6	Comportement d'un lit échangeur	162
2.7	Régénération	164
2.8	Déminéralisation	165
3.	Séquestration	165
4.	Conditionnement des eaux de chaudière	165
4.1	Lutte contre l'entartrage	166
4.2	Lutte contre la corrosion	167
	Exercices de calcul	168
	Références	169

CHAPITRE 10 — LES EAUX RÉSIDUAIRES: CARACTÈRE GÉNÉRAL

1.	Types de réseaux d'égouts	171
2.	Provenance des eaux résiduaires	171
3.	Débits d'eaux usées	172
4.	Composition et caractéristiques des eaux usées	172
	Exercice de calcul	175
	Références	176

CHAPITRE 11 — ÉPURATION NATURELLE DES COURS D'EAU ET ÉTANGS DE STABILISATION

1.	Auto-épuration d'un cours d'eau	177
2.	Étangs de stabilisation	181
2.1	Régimes hydrauliques	181
2.2	Régimes biologiques	181
2.2.1	Étang aérobie	182
2.2.2	Étang aérobie-anaérobiose (ou facultatif)	182
2.2.3	Étang anaérobiose	183
2.2.4	Étang aéré	183
2.3	Exploitation des étangs	183
	Références	185

CHAPITRE 12 — PROCÉDÉS DE TRAITEMENT DES EAUX USÉES URBAINES

Préambule	187
1. Traitements préliminaires	187
1.1 Dégrossissage, dilacération et broyage	188
1.2 Dessablage	189
2. Décantation primaire	190
2.1 Fonction et description	190
2.2 Rendement du décanteur	191
2.3 Exploitation et entretien	192
3. Traitements biologiques ou secondaires	193
3.1 Boues activées: le procédé traditionnel	193
3.1.1 Description de l'appareillage	193
3.1.2 Description du procédé	194
3.1.3 Effet de la température	197
3.1.4 Normes de conception et d'exploitation	197
3.1.5 Variantes du procédé aux boues activées	198
3.1.6 Exploitation	199
3.2 Lit bactérien	202
3.2.1 Description	202
3.2.2 Principe	202
3.2.3 Dimensionnement	203
3.2.4 Exploitation	203
3.3 Disques biologiques rotatifs	204
4. Traitements tertiaires	205
4.1 Désinfection des eaux épurées	205
4.2 Déphosphatation	205
4.3 Dénitrification	206
5. Traitement et élimination des boues	206
5.1 Épaississement préliminaire des boues	207
5.2 Stabilisation ou digestion des boues	207
5.2.1 Digestion aérobie	207
5.2.2 Digestion anaérobie	208
5.3 Déshydratation et évacuation des boues stabilisées	210
5.3.1 Conditionnement préalable	210
5.3.2 Déshydratation ou assèchement partiel	210
5.3.3 Élimination finale des boues	211
Références	212

CHAPITRE 13 — HYGIÈNE ET SÉCURITÉ AU TRAVAIL

Importance de l'hygiène et de la sécurité au travail	213
1. Risques liés au travail	213
1.1 Risques banals	213
1.1.1 Les lésions au dos	214
1.1.2 Les foulures, les fractures et les contusions	214
1.1.3 Les coupures, les écorchures, les meurtrissures	214
1.1.4 La pénétration d'un corps étranger dans l'oeil	214
1.1.5 La chute d'un objet lourd sur un pied	214
1.1.6 Les blessures à la tête	214
1.2 Risques spécifiques	214
1.2.1 Risques d'infection	215
1.2.2 Risques associés aux gaz, vapeurs et poussières	216
1.2.3 Risques liés aux réactifs solides et liquides	218
1.2.4 Risques liés à l'électricité	219
1.2.5 Risques d'incendie	219
1.2.6 Risques mécaniques	219

1.2.7 Risques en laboratoire	220
1.2.8 Risques de chute dans les bassins	220
2. Dispositions générales	220
Références	221