

Table des matières

Chapitre 10. Élimination des micropolluants	1
10.1. Introduction	1
10.2. Les pesticides	2
10.3. Les produits pharmaceutiques et les résidus industriels	4
10.4. Technologies d'élimination des pesticides et des micropolluants émergents	12
10.4.1. L'adsorption sur charbon actif	13
10.4.1.1. Charbon actif en poudre et charbon actif en micrograin	14
10.4.1.2. Paramètres de dimensionnement : choix du charbon	17
10.4.2. Ozonation	51
10.4.2.1. Cas des pesticides	55
10.4.2.2. Cas des résidus de médicaments	58
10.4.3. Combinaison ozone-charbon actif	66
10.4.3.1. Ozone-charbon actif en poudre (CAP)	66
10.4.3.2. O ₃ – Charbon actif en grain	69
10.4.4. Oxydation chimique avancée	71
10.4.4.1. Couplage ozone-péroxyde d'hydrogène (O ₃ – H ₂ O ₂)	72
10.4.4.2. Couplage O ₃ /H ₂ O ₂ -filtre CAG	75
10.4.4.3. Combinaison O ₃ – UV et O ₃ – H ₂ O ₂ – UV	76
10.4.4.4. Couplage UV – H ₂ O ₂	77
10.4.5. Membranes de nanofiltration et osmose inverse	80
10.4.5.1. Corrélation diamètre des pores et réjection	81
10.4.5.2. Cas des pesticides	83
10.4.5.3. Mécanismes incluant l'exclusion de taille et de charges	88
10.4.5.4. Cas des résidus de médicaments	90
10.5. Frogbox® : un outil efficace de surveillance et de contrôle	95

10.6. Le devenir des micropolluants dans les usines d'eau potable	97
10.7. Bibliographie	99

Chapitre 11. Élimination des composés perfluorés 105

11.1. Propriétés physico-chimiques	106
11.2. Présence dans les eaux	107
11.3. Réglementation dans les eaux potables	108
11.4. Les traitements	108
11.4.1. Coagulation-floculation-décantation (ou flottation)	108
11.4.2. Oxydation chimique.	108
11.4.3. Oxydation aux UV	109
11.4.4. Charbon actif.	109
11.4.4.1. Charbon actif en grain (CAG)	110
11.4.4.2. Charbon actif en poudre et en micrograin.	113
11.4.5. Membranes haute pression : nanofiltration et osmose inverse . .	115
11.5. Conclusion	120
11.6. Bibliographie	121

Chapitre 12. Élimination biologique de l'ammoniaque 125

12.1. Principe de la nitrification biologique	125
12.2. Paramètres de dimensionnement	127
12.2.1. Oxygène dissous.	127
12.2.2. Vitesse de filtration	129
12.2.3. Concentration en NH_4^+ éliminée en fonction de la température ($^{\circ}\text{C}$)	129
12.2.4. Charge volumique applicable	129
12.2.5. Temps de contact	131
12.2.6. Hauteur de matériau.	131
12.3. Facteurs limitant l'oxygène.	131
12.3.1. Carbone minéral	131
12.3.2. pH	132
12.3.3. Température	132
12.3.4. Autres éléments	133
12.3.5. Lavage des filtres biologiques.	133
12.4. Mise en œuvre	134
12.4.1. Filtration sur sable.	134

12.5. Biofiltres (procédé Biocarbonate®)	137
12.6. Filières de traitement	140
12.6.1. Filières avec filtration conventionnelle sable, bicouche ou charbon actif en grain	140
12.6.1.1. Cas d'une eau sans micropolluant	140
12.6.1.2. Cas d'une eau contenant des micropolluants	143
12.6.2. Filières avec des filtres Biocarbonate®	143
12.7. Bibliographie	146

Chapitre 13. Élimination des nitrates 149

13.1. Le traitement biologique	150
13.1.1. Les réactions biochimiques	151
13.1.2. Formation de nitrites	153
13.1.3. Aspect bactériologique	154
13.1.4. Description du biofiltre (procédé Biodénit®)	154
13.1.4.1. Modalités de lavage des filtres	157
13.1.4.2. Dépotage et extraction du biodagène	158
13.1.4.3. Réoxygénation	158
13.1.4.4. Affinage par filtration	158
13.1.5. Les filières de traitement incluant la dénitrification biologique	159
13.1.5.1. Cas d'une eau peu turbide comportant des nitrates et des micropolluants	159
13.1.5.2. Cas d'une eau peu turbide comportant des nitrates, de la dureté et des micropolluants	159
13.1.5.3. Cas d'une eau peu turbide comportant des nitrates et de l'ammoniaque	159
13.1.6. Facteurs affectant la dénitrification biologique	163
13.1.6.1. pH	163
13.1.6.2. Substrat carboné	166
13.1.6.3. Phosphore	166
13.1.6.4. Température	166
13.1.6.5. Matériau	166
13.1.7. Paramètres de dimensionnement : charge volumique applicable	166
13.1.8. Paramètres de dimensionnement : temps de contact minimum (t_c min)	167
13.1.9. Paramètres de dimensionnement : hauteur du matériau biodagène (m)	167

13.1.10. Paramètres de dimensionnement : volume de matériau (m ³) . . .	168
13.1.11. Traitement partiel	168
13.1.12. Boues de lavage des filtres Biodénit®	170
13.1.13. Les réactifs	170
13.1.13.1. Éthanol	170
13.1.13.2. Acide acétique	171
13.1.13.3. Phosphore.	172
13.1.14. Mise en œuvre et exploitation de la dénitrification biologique . .	174
13.2. Le traitement par résines échangeuses d'ions	175
13.2.1. Mécanisme général d'échange (procédé Écodénit®)	176
13.2.1.1. Phase d'épuisement.	177
13.2.1.2. Phase de régénération	177
13.2.2. Technologie du procédé Écodénit®	180
13.2.2.1. Paramètres de dimensionnement : capacité totale utile de la résine (CTU)	181
13.2.2.2. Paramètre de dimensionnement : volume minimum de résine	182
13.2.2.3. Paramètre de dimensionnement : charge volumique de l'échangeur	182
13.2.2.4. Phase de régénération	183
13.2.2.5. Volume des éluats	184
13.2.2.6. Traitement partiel	184
13.2.2.7. Performances	185
13.2.2.8. Concentration en chlorures dans l'eau traitée	186
13.2.3. Intégration dans une filière de traitement	187
13.2.4. Solutions packagées.	188
13.3. L'élimination des nitrates par les membranes haute pression.	188
13.4. Bibliographie	194

Chapitre 14. Élimination des perchlorates 199

14.1. Généralités	200
14.2. Principaux procédés d'élimination des ions perchlorates	200
14.2.1. Résines échangeuses d'ions	201
14.2.1.1. Dispositif expérimental	202
14.2.1.2. Résultats des essais en laboratoire	205
14.2.1.3. Essais pilotes	206
14.2.2. Membranes de nanofiltration	208
14.2.2.1. Dispositif expérimental	208

14.2.2.2. Résultats	210
14.3. Conclusions relatives à l'élimination des perchlorates.	211
14.4. Bibliographie	212

Chapitre 15. Décarbonatation 215

15.1. La dureté de l'eau	215
15.2. L'alcalinité	216
15.3. Indice de Langelier (IL ou LSI)	219
15.4. Objectifs de dureté pour l'eau potable	220
15.5. Principes généraux de la décarbonatation	220
15.5.1. Les principales réactions chimiques avec la chaux et la soude	223
15.5.1.1. Avec la chaux	223
15.5.1.2. Avec la soude	228
15.5.1.3. Avec le carbonate de sodium	230
15.5.1.4. Neutralisation du CO ₂	231
15.6. Les procédés chimiques de décarbonatation	232
15.6.1. Limites du processus et considérations empiriques	233
15.7. Les technologies Veolia de décarbonatation.	234
15.7.1. Clarifloculateur	234
15.7.2. Actiflo® Softening	237
15.7.2.1. Performances : élimination de la dureté.	238
15.7.2.2. Élimination du carbone organique dissous	239
15.7.3. Multiflo® Softening	242
15.7.4. La décarbonatation catalytique	247
15.7.4.1. Principe de la nucléation du carbonate de calcium sur un support	247
15.7.4.2. Vitesse dans le réacteur	253
15.7.4.3. Hauteur de matériau au repos (cas du sable)	253
15.7.4.4. Hydraulique des réacteurs	254
15.7.4.5. Paramètres dimensionnant pour une décarbonatation catalytique à la chaux	256
15.7.4.6. Paramètres dimensionnant pour une décarbonatation catalytique à la soude	260
15.7.4.7. Paramètres communs aux deux réactifs alcalins	264
15.7.4.8. Facteurs influençant la décarbonatation catalytique.	267
15.7.4.9. Place de la décarbonatation chimique dans une filière de traitement	269

15.7.4.10. Performances et niveaux de garanties	271
15.7.4.11. Cas du mitigeage	272
15.7.4.12. Élimination du magnésium	273
15.7.4.13. Éléments de technologie et équipements du procédé Actina®	273
15.7.4.14. Paramètres de fonctionnement et de suivi.	278
15.8. Procédé Saphira®	281
15.9. Décarbonatation à l'aide de membranes haute pression	284
15.10. Décarbonatation à l'aide de résines échangeuses d'ions	284
15.10.1. Résistance des résines : précautions d'utilisation.	285
15.10.2. Élimination du Ca^{2+} et du Mg^{2+}	286
15.10.3. Élimination des bicarbonates.	287
15.10.3.1. Échange d'ions.	287
15.10.4. Capacité utile des résines.	288
15.10.5. Paramètres de fonctionnement.	288
15.11. Comparatif entre les quatre solutions de décarbonatation présentées	290
15.11.1. Avantages et inconvénients des différentes solutions	290
15.12. Bibliographie	292

Chapitre 16. Élimination des métaux 295

16.1. Élimination du fer et du manganèse : généralités	295
16.1.1. Présence de fer et de manganèse au niveau de la ressource	295
16.1.2. Présence de fer et de manganèse au niveau de la production.	297
16.1.2.1. Présence de fer et de manganèse au niveau de la distribution	297
16.1.2.2. Incidences de ces deux métaux	298
16.1.2.3. Au niveau économique.	298
16.1.3. Aspects réglementaires du fer et du manganèse	299
16.1.4. Les traitements du fer et du manganèse	300
16.1.4.1. Le traitement du fer : potentiel d'oxydo-réduction – pH	301
16.1.4.2. Le traitement du manganèse	327
16.2. Élimination de l'arsenic	353
16.2.1. Chimie de l'arsenic	354
16.2.2. Les traitements de l'arsenic	357
16.2.2.1. Les traitements par adsorption sur floes d'hydroxydes	357
16.2.2.2. Précipitation à la chaux	367
16.2.2.3. Élimination de l'arsenic par adsorption sur matériau solide	368
16.2.2.4. Autres traitements.	380

16.2.2.5. Facteur influençant le choix du procédé : rapport Fe/As dans l'eau brute	383
16.2.2.6. Avantages et inconvénients des diverses solutions techniques	384
16.3. Élimination du sélénium (Se)	386
16.3.1. Chimie du sélénium	387
16.3.1.1. Sélénium (6+)	387
16.3.1.2. Sélénium (4+)	388
16.3.2. Traitements d'élimination du sélénium	389
16.3.2.1. Élimination de Se par les traitements de coprécipitation (Fe, Al, Ca(OH) ₂)	389
16.3.2.2. Traitement par adsorption sur support solide.	391
16.3.2.3. Autres traitements.	394
16.3.2.4. Traitement biologique	395
16.4. Élimination du nickel	397
16.4.1. La chimie du nickel	397
16.4.2. Traitement d'élimination du nickel (Ni)	398
16.4.2.1. Coagulation/floculation et précipitation : électrocoagulation	398
16.4.2.2. Décarbonatation et élimination du Ni ²⁺	399
16.4.2.3. Adsorption sur matériaux	401
16.4.2.4. Techniques membranaires.	402
16.4.2.5. Le procédé Metclean® (Veolia)	402
16.5. Bibliographie	407
Index	415
Sommaire de <i>Traitement de l'eau potable 1</i>	417
Sommaire de <i>Traitement de l'eau potable 2</i>	419
Sommaire de <i>Traitement de l'eau potable 4</i>	421
Sommaire de <i>Traitement de l'eau potable 5</i>	423