

Table des matières

Chapitre 1. Élimination biologique de l'azote	1
1.1. Origines de l'azote.	2
1.2. Mécanismes biochimiques d'utilisation de l'azote.	4
1.2.1. Ammonification	4
1.2.2. Nitrification	7
1.2.3. Dénitrification	9
1.2.3.1. Dénitrification hétérotrophe	9
1.2.3.2. Dénitrification autotrophe.	14
1.3. Facteurs influençant la nitrification.	17
1.3.1. Température	18
1.3.2. Taux de croissance	19
1.3.3. Oxygène	20
1.3.4. pH et alcalinité	20
1.3.5. Nutriments	21
1.3.6. Oxygène dissous et substrat azoté	21
1.4. Nitrification en système à boues activées	23
1.4.1. Influence de la charge massique	23
1.4.2. Influence de la concentration en MES/MVS dans le bassin	25
1.4.3. Influence de la charge volumique	25
1.4.4. Influence de l'âge des boues	25
1.4.5. Vitesse de nitrification	26
1.4.6. Besoins en O ₂	26
1.4.6.1. Bilan azote.	27
1.4.6.2. Âge des boues minimum nécessaire à la nitrification	28

1.4.7. Modèle dynamique de la nitrification	29
1.4.7.1. Relations empiriques.	31
1.5. Dénitrification en boues activées et vitesse de dénitrification	32
1.5.1. Zone anoxie spécifique pour une dénitrification.	36
1.5.2. Estimation de la production de boues en excès.	37
1.5.3. Ajout de carbone	38
1.6. Procédés de nitrification et dénitrification en boues activées.	39
1.6.1. Pré-dénitrification.	39
1.6.2. Post-dénitrification	39
1.7. Dénitrification autotrophe sur boues activées.	42
1.7.1. Mécanisme de dénitrification autotrophe sur soufre.	43
1.7.2. Dénitrification autotrophe en culture libre (boues activées)	45
1.7.2.1. Température.	45
1.7.2.2. pH.	46
1.7.2.3. Oxygène dissous	46
1.7.2.4. Influence du rapport S/N	46
1.7.2.5. Influence du rapport S°/X.	47
1.7.2.6. Influence de l'alcalinité et du rapport TAC/S°	48
1.7.2.7. Influence de la température	48
1.7.3. Dénitrification autotrophe en biofiltre	48
1.7.3.1. Biofiltre immergé.	48
1.7.3.2. Influence de la charge volumique	51
1.7.3.3. Influence de l'alcalinité	51
1.7.3.4. Influence du rapport soufre/calcaire.	51
1.8. Traitement de l'azote par les bactéries anammox	55
1.8.1. Caractéristiques d'anammox	56
1.8.2. Caractéristiques microbiologiques	56
1.8.3. Biochimie de l'oxydation anaérobie de l'ammonium.	58
1.8.4. Facteurs influençant la croissance des bactéries anammox.	59
1.8.5. Salinité	59
1.8.6. Présence de matière organique et/ou de nutriment.	60
1.8.7. <i>Candidatus Brocadia</i> et <i>Kuenenia</i>	60
1.8.8. Oxygène	62
1.8.9. Température	62
1.8.10. Concentrations en substrat	62
1.8.11. Nitrite	63
1.8.12. Ion ammonium (NH ₄ ⁺)	63
1.8.13. Mécanismes d'inhibition et pH	64

1.8.14. Mise en œuvre à l'aide des bactéries anammox	64
1.8.14.1. Influence du rapport C/N	68
1.8.14.2. Influence de la température	69
1.8.14.3. Inhibition des réactions des bactéries anammox	69
1.8.14.4. Influence du pH	69
1.8.15. Procédés d'élimination de l'azote à l'aide des anammox	70
1.8.15.1. Procédé DEMON®	71
1.8.15.2. Procédé Anita™ Mox	72
1.8.15.3. Procédé Paques	77
1.8.15.4. Procédé Sharon®	77
1.8.16. Applications	78
1.8.16.1. Configuration sur la file principale (<i>mainstream</i>)	78
1.8.16.2. Configuration sur la file secondaire (<i>sidestream</i>)	80
1.9. MABR : une nouvelle opportunité	81
1.10. Conclusion	82
1.11. Bibliographie	83

Chapitre 2. Élimination du phosphore 93

2.1. Le cycle du phosphore	93
2.2. Eutrophisation	95
2.3. Formes minérales oxydées du phosphore dans les eaux usées	96
2.4. Procédés d'élimination du phosphore	100
2.4.1. Généralités	100
2.4.2. Élimination biologique du phosphore	101
2.4.2.1. Système à boues activées	102
2.4.2.2. Dimensionnement de la déphosphatation biologique	115
2.5. Filières de traitement intégrant la déphosphatation biologique	116
2.5.1. Boues activées	117
2.5.1.1. Procédé Bardenpho modifié	117
2.5.1.2. Procédé Phoredox modifié I	117
2.5.1.3. Procédé Phoredox modifié II	117
2.5.1.4. Procédé UCT	122
2.5.1.5. Procédé UCT modifié	122
2.5.1.6. Procédés A/O et A ² /O (Veolia)	122
2.5.1.7. Procédé Biotenipho™	123
2.5.2. Biofiltres : introduction de réactifs dans le décanteur primaire	125
2.5.3. Autres technologies d'élimination biologique du phosphore	125
2.5.3.1. Bioréacteur à membrane (BRM)	127
2.5.3.2. Zones humides artificielles	128
2.5.3.3. Microalgues/champignons	128

2.6. Sélecteurs	130
2.6.1. Sélecteur aérobique	131
2.6.2. Sélecteur anoxique	131
2.6.3. Sélecteur anaérobique	132
2.7. Traitement physicochimique.	134
2.7.1. Bases fondamentales de la précipitation du phosphore	135
2.7.1.1. Coagulants métalliques	135
2.8. Mise en œuvre des réactifs chimiques	153
2.8.1. Points d'injection	153
2.8.2. Régulation de l'injection.	153
2.9. Autres solutions techniques d'élimination du phosphore	157
2.9.1. Supports actifs pour l'élimination du phosphore.	157
2.9.1.1. Les matériaux naturels.	157
2.9.1.2. Les matériaux de synthèse	158
2.9.1.3. Les sous-produits industriels	159
2.9.2. Zones humides artificielles	160
2.9.3. Échange d'ions	160
2.10. Performances générales d'élimination du phosphore.	161
2.11. Bibliographie	162

Chapitre 3. Clarification 171

3.1. Généralités	171
3.1.1. Principe.	171
3.1.2. Types de clarificateurs	172
3.1.2.1. Formes	172
3.1.2.2. Reprise des boues	172
3.2. Vitesse de sédimentation des particules dans un liquide	173
3.2.1. Suspensions diluées.	173
3.2.2. Particules floculées	176
3.2.3. Suspensions concentrées.	177
3.2.4. Courbes de sédimentation	178
3.3. Théorie de la sédimentation	180
3.3.1. Loi fondamentale : théorie de Kynch	181
3.3.1.1. Relation hauteur/concentration en particules	181
3.3.1.2. Autre démonstration (hauteur/concentration)	184
3.3.1.3. Détermination géométrique de la surface unitaire.	185
3.4. Interprétation mathématique des différents types de sédimentation	187
3.4.1. Sédimentation libre ou coalescente (zone B, figure 3.2)	187

3.4.2. Décantation freinée (zone C, figure 3.2)	193
3.4.2.1. Méthode de Coe et Clevenger	195
3.4.3. Zone de compaction	198
3.5. Dimensionnement des clarificateurs	198
3.5.1. Différentes approches de dimensionnement	202
3.5.2. Sédimentation coalescente (zone B, figure 3.13)	203
3.5.3. Zone de sédimentation freinée et clarificateurs à lit de boues (zone C, figure 3.13)	207
3.5.4. Zone de compaction des boues (zone D, figure 3.13)	208
3.5.5. Relation vitesse de sédimentation et hauteur de l'ouvrage	212
3.6. Caractéristiques des clarificateurs classiques	216
3.6.1. Clarificateurs horizontaux	217
3.6.1.1. Dimensionnement	220
3.6.1.2. Mise en œuvre	221
3.6.2. Clarificateurs cylindriques	222
3.6.3. Autres technologies	225
3.6.4. Dimensionnement général des clarificateurs conventionnels	226
3.6.4.1. Surface	226
3.6.4.2. Profondeur	226
3.6.4.3. Taux de recirculation	227
3.6.4.4. Concentration de la biomasse dans le bassin d'aération	228
3.6.4.5. Charge volumique au radier	231
3.6.4.6. Charge massique au radier	231
3.6.4.7. Temps de séjour de la boue	232
3.7. Les clarificateurs lamellaires	233
3.7.1. Théorie et principe	234
3.7.2. Bases de dimensionnement des clarificateurs lamellaires	237
3.7.2.1. Cas des plaques lamellaires alvéolées (type nid d'abeille)	237
3.7.2.2. Cas des plaques lamellaires planes	238
3.7.2.3. Applications sur les boues activées	242
3.8. Dysfonctionnements des clarificateurs	244
3.9. Technologies	246
3.9.1. Clarificateur Clariflo® (Veolia)	246
3.9.2. Clarificateur Rim-Flo®	249
3.9.3. Racleur TowBro®	250
3.9.4. Décanteur lamellaire : Multiflo® (Veolia)	251
3.10. Bibliographie	257

Index	261
Sommaire de <i>Traitement biologique des eaux usées urbaines 1.</i> .	265
Sommaire de <i>Traitement biologique des eaux usées urbaines 2.</i> .	267
Sommaire de <i>Traitement biologique des eaux usées urbaines 4.</i> .	269