

Table des matières

Chapitre 1. La réutilisation des eaux usées : une nouvelle ressource	1
1.1. Constat sur la situation actuelle	2
1.2. Le changement climatique	6
1.3. Les solutions pour réduire le stress hydrique	7
1.3.1. Réutilisation directe et indirecte	8
1.4. Les différents usages de la réutilisation	13
1.5. S'adapter au contexte local.	14
1.6. Politiques et institutions pour soutenir la réutilisation.	15
1.7. Glossaire	16
1.8. Bibliographie.	17
Chapitre 2. Caractérisation des eaux usées traitées	21
2.1. Principaux paramètres définissant la qualité des eaux usées traitées	21
2.1.1. Les indicateurs de matières organiques : demande biologique en oxygène et demande chimique en oxygène, le carbone organique total.	23
2.1.2. Les matières en suspension	27
2.1.3. Azote	28
2.1.4. Phosphore	29
2.1.5. Pesticides et perturbateurs endocriniens.	30
2.1.5.1. Hormones	32
2.2. Aspects microbiologiques	35
2.2.1. Bactéries	37
2.2.1.1. Coliformes.	37
2.2.1.2. Streptocoques fécaux	38

2.2.1.3. <i>Clostridium</i> sulfitoréducteurs	38
2.2.1.4. <i>Salmonella spp.</i>	39
2.2.2. Virus entériques	39
2.2.2.1. Entérovirus	39
2.2.2.2. Rotavirus.	40
2.2.2.3. Bactériophages	41
2.2.3. Protozoaires entériques.	41
2.2.4. Œufs d'helminthes	41
2.2.5. Les indicateurs de contamination fécale.	43
2.2.5.1. Évaluation dans les eaux usées traitées	43
2.2.5.2. Les inquiétudes actuelles	48
2.3. Bibliographie.	49

Chapitre 3. Applications et usages de l'eau réutilisée 53

3.1. Les différents usages	58
3.1.1. Agriculture	58
3.1.1.1. Modes d'irrigation	61
3.1.1.2. Paramètres de qualité importants pour l'utilisation agricole des eaux usées.	66
3.1.2. Réutilisation en industrie	74
3.1.3. Recharge de nappes souterraines	76
3.1.4. Zones de loisirs et environnementales	77
3.1.4.1. Génération de neige	78
3.1.5. Usages urbains non alimentaires	78
3.1.5.1. Zones boisées	80
3.1.6. Eau potable.	80
3.2. Bibliographie.	82

Chapitre 4. Réglementation. 93

4.1. Réglementation, état de l'art et défis futurs pour le traitement des eaux usées municipales et la réutilisation de l'eau	93
4.2. Réglementation pour la réutilisation des eaux usées en France	95
4.2.1. Application à l'irrigation.	98
4.2.1.1. Contraintes d'usage	100
4.3. Directive européenne	103
4.3.1. Exigences minimales applicables à l'eau de récupération destinée à l'irrigation agricole	105

4.4. Organisation mondiale de la santé (OMS)	108
4.4.1. Objectifs en matière de réduction des agents pathogènes pour les différents types d'irrigation.	111
4.4.1.1. Irrigation sans restriction	111
4.4.1.2. Irrigation avec restriction	114
4.4.1.3. Irrigation localisée	117
4.4.2. Surveillance/vérification	117
4.5. Règlement sur la réutilisation de l'eau aux États-Unis	117
4.6. Règlement sur la réutilisation de l'eau en Chine	122
4.7. Australie.	122
4.8. Pays méditerranéens et Moyen-Orient	124
4.9. Conclusion	126
4.10. Bibliographie	131

Chapitre 5. Planification de la réutilisation des eaux usées 137

5.1. Objectifs et limites du projet.	138
5.1.1. Enquêtes préliminaires	138
5.1.2. Sélection des marchés potentiels	138
5.1.3. Évaluations des alternatives	139
5.1.4. Sensibilisation et éducation	140
5.1.5. Importance de la terminologie	141
5.1.6. Aspects économiques et juridiques.	141
5.2. Bibliographie.	142

Chapitre 6. Les technologies de traitement 145

6.1. Utilisation des eaux usées brutes	147
6.2. Bases du concept des filières de traitement	148
6.3. Bibliographie.	151

Chapitre 7. Filtration tertiaire. 153

7.1. La filtration gravitaire sans réactifs.	154
7.1.1. Filtres rapides et filtres à très grande vitesse (TGV)	154
7.1.2. Filtres bicouches	156
7.1.3. Filtres sous pression	158
7.2. La filtration gravitaire avec réactifs	159
7.3. Mécanismes de la filtration	161

7.4. Paramètres de mise en œuvre	163
7.4.1. Les matériaux	163
7.4.2. Ratio hauteur de matériau/d ₁₀	169
7.4.3. Rapport des tailles effectives	171
7.5. Paramètres de dimensionnement : vitesse de filtration et hauteur de matériau	172
7.5.1. Modélisation de la profondeur du filtre	173
7.6. Paramètres de fonctionnement.	175
7.6.1. Perte de charge en filtre propre	175
7.6.2. Capacité de rétention	177
7.6.3. Les conditions de lavage des filtres	181
7.6.3.1. Théorie et calculs.	181
7.6.3.2. Mise en œuvre des conditions de lavage	185
7.7. Les technologies de filtration	191
7.7.1. Les filtres monocouches conventionnels	193
7.7.2. Les filtres à très grande vitesse (filtres TGV)	195
7.7.3. Exemple de dimensionnement d'une filtration tertiaire sur filtre monocouche	200
7.7.3.1. Calculs basés sur N-2 filtres au débit maximal	200
7.7.3.2. Conditions de lavage.	201
7.7.3.3. Caractéristiques des pompes de lavage et des compresseurs d'air	201
7.7.4. Les filtres bicouches	201
7.7.4.1. Dimensionnement d'un filtre tertiaire bicouche : exemple d'une station de traitement des eaux usées (Abu Dhabi, Moyen-Orient)	204
7.7.5. Les filtres sous pression	208
7.7.6. Performances des filtres gravitaires	210
7.8. Filtres à matériau mobile	210
7.9. Filtres à tambour rotatif.	211
7.9.1. Caractéristiques des filtres Hydrotech	214
7.9.1.1. Élimination des œufs d'helminthes	215
7.10. Bibliographie	215

Chapitre 8. Désinfection 221

8.1. Les micro-organismes présents dans l'eau usée traitée	221
8.1.1. Bactéries	222
8.1.2. Virus	224
8.1.2.1. Bactériophages fécaux.	224
8.1.3. Parasites	225

8.2. Règles générales de la désinfection chimique.	226
8.2.1. Mode d'action des désinfectants chimiques en eau usée traitée . .	226
8.2.2. Principe d'abattement du nombre de germes – Unités « log ». . .	228
8.2.2.1. Notion de Ct.	229
8.3. Facteurs influant sur l'efficacité de la désinfection chimique	232
8.3.1. Turbidité	232
8.3.2. Présence de matières oxydables	232
8.3.3. Mode et point d'injection	232
8.3.4. Conception de la bache de contact	233
8.4. Qualités d'un bon désinfectant	233
8.5. Les principales techniques de désinfection chimique des eaux usées . .	234
8.5.1. La désinfection au chlore	234
8.5.1.1. Chlore gazeux.	236
8.5.1.2. Hypochlorites	237
8.5.1.3. Points d'application du chlore	240
8.5.1.4. Demande en chlore – <i>Break-point</i>	241
8.5.1.5. Mise en œuvre de la chloration.	244
8.5.1.6. Dosage et performances de désinfection avec le chlore . . .	251
8.5.1.7. Calculs des doses requises pour l'abattement des coliformes totaux et coliformes fécaux pour la désinfection au chlore	253
8.5.2. Désinfection au dioxyde de chlore	258
8.5.2.1. Préparation du dioxyde de chlore	259
8.5.2.2. Performances du dioxyde de chlore	262
8.5.2.3. Avantages et inconvénients du dioxyde de chlore dans les eaux usées.	264
8.5.2.4. Calculs des doses requises pour l'abattement des coliformes totaux et coliformes fécaux pour la désinfection au dioxyde de chlore	264
8.5.3. Chloramination	268
8.5.3.1. Principe	268
8.5.3.2. Mise en œuvre	271
8.5.3.3. Performances de la monochloramine	272
8.5.3.4. Avantages et inconvénients de la chloramination dans les eaux usées.	273
8.5.3.5. Calculs des doses requises pour l'abattement des coliformes totaux et coliformes fécaux pour la désinfection aux chloramines	274
8.6. Désinfection à l'ozone	279
8.6.1. Généralités sur l'ozone.	279

8.6.2. Préparation et mise en œuvre de l’ozone	280
8.6.2.1. Traitement de l’air	280
8.6.2.2. Génération de l’ozone	281
8.6.3. Transfert de l’ozone dans l’eau à traiter	282
8.6.4. Performances de la désinfection à l’ozone	283
8.7. Les peracides organiques : acide performique et acide peracétique	287
8.7.1. Production de peracides organiques	287
8.7.2. Mécanismes de désinfection et d’oxydation des peracides organiques	288
8.7.3. Acide performique (PFA)	290
8.7.3.1. Désinfection à l’acide performique	291
8.7.4. Acide peracétique (PAA)	292
8.7.5. Cinétique de dégradation des peracides	293
8.7.6. Applications aux eaux usées primaires, secondaires et tertiaires	294
8.8. Désinfection par les rayonnements ultraviolets	297
8.8.1. Généralités sur les rayonnements UV	297
8.8.2. Mécanismes d’inactivation	298
8.8.3. Dose létale et cinétique d’inactivation	300
8.8.4. Mise en œuvre	302
8.8.4.1. Lampes basse pression	303
8.8.4.2. Lampes à « moyenne et haute pression »	303
8.8.5. Paramètres de dimensionnement	306
8.8.5.1. La dose UV (mJ.cm^{-2} ou J.m^{-2})	307
8.8.5.2. Puissance électrique consommée	307
8.8.6. Facteurs influant sur l’efficacité du traitement aux UV	308
8.8.6.1. Qualité de l’eau à traiter	308
8.8.7. Performances	312
8.8.8. Avantages et inconvénients de la désinfection aux UV en eau usée	317
8.9. Critères de choix d’une technique de désinfection	319
8.10. Bibliographie	322

Index	333
------------------------	------------

Sommaire de <i>La réutilisation des eaux usées 2</i>	339
---	------------