

Table des matières

Chapitre 20. Équilibre calco-carbonique, correction d'agressivité et reminéralisation.	1
20.1. Les caractéristiques de l'eau amenant à l'équilibre calco-carbonique	1
20.1.1. Équilibres chimiques	1
20.1.1.1. Influence de la température sur les vitesses de réaction	4
20.1.1.2. Alcalinité	5
20.1.1.3. Relations CO_2 libre/ CO_2 agressif/ CO_2 équilibrant.	7
20.1.2. Eau agressive.	10
20.1.3. Eau entartrante	10
20.1.4. Eau corrosive.	10
20.2. Les réactions d'équilibre des constituants de l'eau	12
20.2.1. pH d'équilibre	13
20.2.2. Équation de Langelier	16
20.3. Diagramme d'Hallopeau-Dubin	20
20.4. Les critères indicatifs de l'agressivité ou de la corrosivité d'une eau	23
20.4.1. Les indices d'agressivité : les canalisations en béton	24
20.4.1.1. L'indice de Langelier.	24
20.4.1.2. L'indice de saturation	24
20.4.2. Les indices de corrosivité	25
20.4.2.1. L'indice de Larson (LnR)	27
20.4.2.2. L'indice de Ryznar (RSI)	28
20.4.2.3. L'indice de Leroy (LyR)	28
20.4.2.4. L'indice de mise à l'échelle Puckorius (PSI).	28
20.5. La mise à l'équilibre calco-carbonique de l'eau.	29
20.5.1. Qualité d'eau et réglementation.	31
20.5.2. La correction d'agressivité.	32

20.5.3. Les traitements de correction d'agressivité	32
20.5.3.1. Aération	33
20.5.3.2. Les technologies de dégazage du CO ₂	35
20.5.3.3. Les traitements chimiques de correction de l'agressivité de l'eau.	39
20.6. Traitements de reminéralisation	53
20.6.1. Méthode graphique	54
20.6.1.1. Reminéralisation par injection de CO ₂ suivie d'une neutralisation par réactifs neutralisants	54
20.6.1.2. Reminéralisation par injection de bicarbonate de soude et d'un sel fort de calcium	54
20.6.2. Procédés de mise en œuvre de la reminéralisation : réactions chimiques en cuve	55
20.6.2.1. Solution dioxyde de carbone/chaux	55
20.6.2.2. Solution à l'aide de carbonates et sels de base forte.	59
20.6.2.3. Réactions chimiques sur filtre calcaire	60
20.6.2.4. Les matériaux de neutralisation.	63
20.6.2.5. Mécanisme de la reminéralisation dans le filtre calcaire	65
20.6.2.6. Performances de la reminéralisation sur le filtre calcaire	66
20.6.2.7. Paramètres de dimensionnement des filtres calcaire	67
20.6.2.8. La technologie des filtres calcaire (type Filtraflo® F)	70
20.6.2.9. Traitement complémentaire à la soude	75
20.6.2.10. Procédé de reminéralisation innovant Veolia pour de petites installations.	77
20.7. Caractéristiques des divers réactifs utilisés	78
20.7.1. Chaux	78
20.7.2. Chaux « micronisée ».	79
20.7.3. Soude	80
20.7.4. Lessive de soude à 50 %	80
20.7.5. Soude en paillettes ou en grains.	81
20.7.6. Carbonate de soude	81
20.7.7. Bicarbonate de soude	82
20.7.8. Carbonate de calcium.	82
20.7.9. Calcaire Acticalmag™	83
20.7.10. Magno	83
20.7.11. Sulfate de calcium	84
20.7.12. Chlorure de calcium	85
20.7.13. Dioxyde de carbone	85
20.7.14. Acide sulfurique (90-98 %)	86
20.7.15. Acide chlorhydrique.	87
20.8. Bibliographie	89

Chapitre 21. Désinfection	93
21.1. Les micro-organismes présents dans l'eau	93
21.1.1. Bactéries	93
21.1.2. Micro-organismes indicateurs ou germes tests	96
21.1.2.1. Germes témoins de contamination fécale	96
21.1.3. Virus	98
21.1.4. Parasites	99
21.1.5. Micro-algues	102
21.2. Qualité des eaux destinées à la consommation humaine	102
21.2.1. Réglementation française	102
21.3. Règles générales de la désinfection chimique	104
21.3.1. Mécanismes de la désinfection	104
21.3.2. Mode d'action des désinfectants chimiques	105
21.3.3. Cinétique d'inactivation	106
21.3.3.1. Principe d'abattement du nombre de germes-unités « log »	107
21.3.4. Notion de Ct	107
21.4. Facteurs influant sur l'efficacité de la désinfection chimique	110
21.4.1. Le temps de contact	111
21.4.2. Turbidité	112
21.4.2.1. Turbidité et risque parasitaire	112
21.4.3. Présence de matières oxydables	112
21.4.4. pH	112
21.4.5. Mode et point d'injection	113
21.4.6. Conception de la bêche de contact	113
21.5. Qualités d'un bon désinfectant	113
21.6. La désinfection au chlore	115
21.6.1. Chlore gazeux	116
21.6.2. Hypochlorite	118
21.6.3. Points d'application du chlore	122
21.6.3.1. Interchloration	122
21.6.3.2. Chloration finale et configuration des cuves de désinfection	122
21.6.4. Demande en oxydant	126
21.6.4.1. Demande en chlore	126
21.6.4.2. Demande en chlore d'une eau par les éléments minéraux	128
21.6.4.3. <i>Break-point</i>	129
21.6.5. Mise en œuvre de la chloration	131
21.6.5.1. Eau de Javel	131
21.6.5.2. Chlore gazeux	132
21.6.5.3. Électrochloration	135
21.6.5.4. Déchloration	136

21.6.6. Performances de désinfection avec le chlore	140
21.6.6.1. Bactéries	140
21.6.6.2. Virus	141
21.6.6.3. Parasites	141
21.6.7. Synthèse des réactions du chlore	142
21.7. Hypochlorite de calcium	142
21.8. Désinfection au dioxyde de chlore	144
21.8.1. Préparation du dioxyde de chlore	145
21.8.2. Performances du dioxyde de chlore	149
21.8.2.1. Bactéries	149
21.8.2.2. Virus	150
21.8.2.3. Parasites	150
21.8.3. Déchloration	150
21.8.3.1. Recommandations pour limiter la formation de chlorites et chlorates	153
21.8.4. Avantages du dioxyde par rapport au chlore	153
21.8.5. Cas particulier de l'emploi du dioxyde de chlore dans une station équipée à l'ozone.	153
21.8.6. Avantages et inconvénients du dioxyde de chlore	154
21.9. Chloramination	154
21.9.1. Principe	154
21.9.2. Mise en œuvre	157
21.9.3. Performances de la monochloramine.	158
21.9.3.1. Bactéries	158
21.9.3.2. Virus	158
21.9.3.3. Parasites	159
21.9.4. Déchloration	159
21.9.5. Avantages et inconvénients de la chloramination	160
21.10. Proportion de chlore dans les désinfectants chlorés.	161
21.11. Désinfection à l'ozone	162
21.11.1. Généralités sur l'ozone	162
21.11.2. Production d'ozone	163
21.11.2.1. Traitement de l'air.	164
21.11.2.2. Génération de l'ozone	164
21.11.2.3. Transfert de l'ozone dans l'eau à traiter	165
21.11.3. Demande en ozone.	166
21.11.4. Mise en œuvre de l'ozonation	168
21.11.4.1. Ozonation en cuves	168
21.11.4.2. Injection en ligne	169
21.11.4.3. Injection par mélangeur statique	171
21.11.4.4. Injection en ligne à l'aide d'un venturi	173

21.11.4.5. Récupération et traitement des événements ozonés	174
21.11.5. Performances de la désinfection à l’ozone.	175
21.11.5.1. Bactéries	175
21.11.5.2. Virus.	175
21.11.5.3. Parasites.	176
21.11.6. Dé-ozonation	177
21.12. Critères de choix d’une technique de désinfection chimique	178
21.12.1. Mise en œuvre pratique de la désinfection chimique.	178
21.12.2. Efficacité comparée des principales techniques.	179
21.13. Autre désinfectant chimique utilisé : brome (Br ₂).	181
21.14. Désinfection par les rayonnements ultraviolets	181
21.14.1. Généralités sur les rayonnements UV	181
21.14.2. Mécanismes d’inactivation.	183
21.14.3. Dose létale et cinétique d’inactivation	184
21.14.3.1. Dose DRE (dose de réduction équivalente).	186
21.14.4. Mise en œuvre	188
21.14.4.1. Les lampes basse pression	188
21.14.4.2. Les lampes moyenne pression.	189
21.14.4.3. Descriptif du fonctionnement	191
21.14.5. Paramètres de dimensionnement de la désinfection aux UV	193
21.14.5.1. Dose UV (mJ.cm ⁻² ou J.m ⁻²).	193
21.14.5.2. Puissance électrique consommée	193
21.14.5.3. Calcul du nombre de lampes	194
21.14.5.4. Calcul de la puissance installée (kWh).	194
21.14.6. Facteurs influant sur l’efficacité du traitement aux UV	194
21.14.6.1. Transmittance de l’eau	194
21.14.6.2. Turbidité et matières en suspension	195
21.14.6.3. Formation de dépôts sur les gaines	195
21.14.6.4. Influence de la concentration en fer résiduel	196
21.14.6.5. Intensité UV émise	196
21.14.6.6. Temps de contact	197
21.14.6.7. Vieillesse des lampes	197
21.14.6.8. Durée de vie des lampes	197
21.14.6.9. Gaine de quartz et ballasts	198
21.14.6.10. Gestion du fonctionnement des lampes	198
21.14.7. Performances des rayonnements UV	198
21.14.8. La photoréactivation.	202
21.14.9. Avantages et inconvénients de la désinfection aux UV	203
21.14.10. Conclusions sur la désinfection aux UV	204
21.15. Critères comparatifs entre les divers désinfectants chimiques	204
21.16. Bibliographie	206

Chapitre 22. Les sous-produits de la désinfection	209
22.1. Généralités	209
22.2. Les sous-produits de réaction	210
22.3. Formation et évolution des sous-produits de chloration	214
22.4. Cinétiques et mécanismes de formation	216
22.4.1. Cinétiques de formation	216
22.4.2. Mécanismes	218
22.4.3. Chloration de substances humiques	220
22.4.4. Chloration des acides carboxyliques	221
22.4.5. Facteurs influençant la formation des sous-produits de désinfection	222
22.4.5.1. Effet de la température	223
22.4.5.2. Effet du temps de contact	224
22.4.5.3. Effet du pH.	224
22.4.5.4. Effet de la concentration en matières organiques naturelles (MON).	225
22.4.5.5. Les bromures	227
22.4.5.6. Effet de la dose de chlore	229
22.5. Réglementation française	229
22.6. Modèles prédictifs des sous-produits de chloration.	230
22.7. Élimination des THM et AHA	231
22.7.1. Aération.	231
22.7.2. Charbon actif.	233
22.7.3. Biofiltration.	237
22.7.4. Membranes haute pression.	237
22.8. Cas des nitrosamines et de la N-nitrosodiméthylamine (NDMA)	238
22.8.1. Mécanisme de nitrosation avec HOCl	238
22.9. Les sous-produits d'oxydation liés au dioxyde de chlore	240
22.10. Les sous-produits d'ozonation	242
22.11. Bibliographie	245
 Chapitre 23. Traitement des boues	 251
23.1. Choix d'une filière de traitement	252
23.2. Caractéristiques des boues d'eau potable	253
23.2.1. Quantité de boues produites	253
23.2.2. Estimation de concentration des boues à différentes étapes de la filière.	255
23.2.3. Qualité des boues : propriétés physiques et chimiques	256

23.3. Manutention et stockage : caractère pelletable et gerbable	258
23.4. Différentes classes de boues	259
23.4.1. Les boues hydroxydes	259
23.4.2. Les boues de décarbonatation	259
23.4.3. Les boues de traitements d'espèces métalliques	260
23.4.4. Les boues biologiques	260
23.4.5. Cas des boues mixtes	260
23.5. Composition des boues à partir des caractéristiques des eaux brutes . .	261
23.5.1. Boues d'eaux de surface	261
23.5.2. Boues de traitement avec coagulants (Fe ou Al)	262
23.5.3. Boues d'eaux de forage	262
23.6. Épaississement des boues d'eau potable	263
23.6.1. Fonction et critères de choix d'un épaississeur	263
23.6.1.1. Fonction concentration	263
23.6.1.2. Fonction clarification	263
23.6.1.3. Fonction stockage	263
23.6.1.4. Stockage tampon	263
23.6.1.5. Stockeur-décanteur	264
23.6.2. Dimensionnement des épaississeurs	265
23.6.2.1. Épaississement classique et lamellaire	267
23.6.3. Mise en œuvre des épaississeurs	272
23.6.3.1. Épaississeur classique	272
23.6.3.2. Épaississeur lamellaire	273
23.6.3.3. Épaississeur lamellaire Actidyn® (Veolia)	274
23.6.3.4. Épaississement par lagunage	276
23.6.4. Flottation	276
23.7. Déshydratation des boues d'eau potable	279
23.7.1. Filtre à plateaux	279
23.7.1.1. Description	279
23.7.1.2. Performances des filtres à plateaux sur boues hydroxydes . .	280
23.7.1.3. Performances sur boues de décarbonatation	282
23.7.2. Centrifugation	282
23.7.2.1. Centrifugation des boues d'eaux de surface	283
23.7.2.2. Centrifugation des boues de décarbonatation	284
23.7.2.3. Centrifugation des boues de déferrisation	284
23.7.3. Filtres à bande	284
23.7.4. Sacs filtrants	286
23.7.5. Lits de séchage	287
23.7.5.1. Description	288

23.7.5.2. Lits de séchage de boues épaissies	290
23.7.5.3. Lits de séchage de boues non épaissies	291
23.7.6. Lagunage	293
23.7.6.1. Principales caractéristiques	293
23.8. Avantages et inconvénients des différents traitements de déshydratation des boues.	295
23.9. Bibliographie	296

**Chapitre 24. La filière de traitement : conception
et dimensionnement 299**

24.1. La filière de traitement	302
24.2. La définition de la filière de traitement.	302
24.3. Les étapes d'une filière de traitement.	305
24.4. La réhabilitation des filières de traitement.	307
24.4.1. Adaptation des nouveaux objectifs	308
24.4.2. Sélection des technologies de traitement	309
24.5. Bibliographie	316

Chapitre 25. Le futur de l'eau 319

25.1. Les éléments majeurs du futur de l'eau.	319
25.2. Y aura-t-il suffisamment d'eau ?	322

Index 325

Sommaire de *Traitement de l'eau potable 1*. 327

Sommaire de *Traitement de l'eau potable 2*. 329

Sommaire de *Traitement de l'eau potable 3*. 331

Sommaire de *Traitement de l'eau potable 4*. 333