

Réglementation et traitement des **eaux** destinées à la consommation humaine





1^{re} édition, 2006

Travaux de la Commission
Distribution de l'Eau de l'ASTEF

Préface par Martine Vullierme,
Présidente de la Commission Distribution de l'Eau

Coordonné par Jean-Pierre Duguet,
Direction Qualité et Environnement, Eau de Paris

Sommaire

1. Présentation des dispositions réglementaires du Code de la Santé Publique relatives aux eaux destinées à la consommation humaine	23
 INTRODUCTION	24
 LES RESSOURCES	26
I.2.1 Règles techniques - Obligations techniques	26
I.2.1.1 Qualité de l'eau brute	26
I.2.1.2 Périmètres de protection de la ressource	28
I.2.2 Procédures administratives	28
I.2.3 Limites de qualité	28
I.2.4 Suivi de la qualité - Contrôle sanitaire	29
I.2.4.1 Analyses de contrôle sanitaire	29
I.2.4.2 Auto-surveillance de l'exploitant	29
I.2.5 Gestion des non-conformités	30
I.2.6 Obligations d'informations	30
 LES EAUX MISES EN DISTRIBUTION	30
I.3.1 Règles techniques - Obligations de moyens	30
I.3.2 Procédures administratives	31
I.3.3 Limites de qualité	31
I.3.4 Suivi de la qualité - Contrôle sanitaire	32
I.3.5 Gestion des non-conformités	34
I.3.6 Obligations d'informations	34
 LES RÉSEAUX PUBLICS DE DISTRIBUTION	35
I.4.1 Règles techniques - Obligations de moyens	35
I.4.2 Procédures administratives	36
I.4.3 Limites de qualité	36
I.4.4 Suivi de la qualité - Contrôle sanitaire	40

I.4.4.1	Contrôle de la qualité de l'eau	40
I.4.4.2	Auto-surveillance	40
I.4.5	Gestion des non-conformités	41
I.4.6	Obligations d'informations	42

LE RÉSEAU PRIVÉ DE DISTRIBUTION 46

I.5.1	Règles techniques - Obligations de moyens	46
I.5.2	Procédures administratives	46
I.5.3	Limites de qualité	47
I.5.4	Suivi de la qualité - Contrôle sanitaire	47
I.5.4.1	Auto-surveillance	47
I.5.5	Gestion des non-conformités	47
I.5.6	Obligations d'informations	47

CONCLUSION 48

II. Les différents paramètres de qualité d'eau de consommation humaine 51

LES PARAMÈTRES MICROBIOLOGIQUES 54

Algues et animalcules	54
Bactéries aérobies revivifiables à 22 et 37 °C	56
Bactéries Coliformes	58
Bactéries sulfito-réductrices	60
Entérocoques	62
<i>Escherichia coli</i>	64
<i>Giardia</i> et <i>Cryptosporidium</i>	66
Légionelles	68
Mycobactéries atypiques	70
Prions	72
Virus	74

LES PARAMÈTRES CHIMIQUES 76

Acrylamide	76
Aluminium	78

Ions ammonium	80
Antimoine	82
Arsenic	83
Baryum	84
Benzène	85
Benzo(a)pyrène	86
Bore	88
Bromates	89
Cadmium	91
Carbone organique total	92
Chlorites	93
Chlorures	94
Chlorure de vinyle (voir fiche Acrylamide)	76
Chrome	95
Conductivité	96
Couleur	98
Cuivre	99
Cyanures totaux	100
1,2 dichloroéthane	101
Equilibre calco-carbonique	103
Epichlorhydrine (voir fiche Acrylamide)	76
Fer	104
Fluorures	106
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (voir fiche Benzo(a)pyrène)	86
Manganèse	107
Médicaments et produits hospitaliers	109
Mercure total	110
Microcystine L-R	111
Nickel	112
Nitrates	113
Nitrites	115
Odeur et saveur	116
Oxydabilité au permanganate de potassium	119
Pesticides	121
pH	123

Plomb	124
Radioactivité et tritium	126
Sélénium	128
Sodium	129
Sulfates	130
Tétrachloroéthylène (voir fiche 1-2 dichloroéthane)	101
Trichloroéthylène (voir fiche 1-2 dichloroéthane)	101
Trihalométhanés	131
Turbidité	132

TABLEAU RÉCAPITULATIF DE LA TRAITABILITÉ DE CHAQUE PARAMÈTRE 134

III. Conception des filières de traitement 145

GENERALITÉS 146

III.1.1 Le cahier des charges	146
III.1.2 La définition de la filière de traitement	146
III.1.3 Le choix des procédés, des produits et des équipements de traitement	147
III.1.4 Le dimensionnement des ouvrages	148
III.1.5 La maîtrise des processus et de la qualité de l'eau	148
III.1.6 La définition d'un programme de maintenance	149

ÉTUDE DE LA CONCEPTION D'UNE FILIÈRE DE TRAITEMENT 149

III.2.1 La définition de la filière de traitement	150
III.2.1.1 Les eaux souterraines	150
III.2.1.2 Les eaux de surface	150
III.2.2 Les étapes principales d'une filière de traitement	152
III.2.2.1 La préoxydation chimique	152
III.2.2.2 La clarification	152
III.2.2.3 L'affinage par adsorption sur charbon actif ou par couplage ozonation-adsorption sur charbon actif	155
III.2.2.4 La nanofiltration	156
III.2.2.5 La désinfection	156
III.2.3 La réhabilitation des filières de traitement	157

IV. Les principaux traitements des eaux destinées à la consommation

161

IV.1	LA CLARIFICATION	162
IV.1.1	Introduction	162
IV.1.2	Les étapes de la clarification	163
IV.1.2.1	Coagulation-floculation	163
IV.1.2.2	Décantation	168
IV.1.2.3	Flottation	177
IV.1.2.4	Filtration	179
IV.1.3	Performance des procédés de clarification	186
IV.1.3.1	Efficacité de la coagulation-floculation et décantation sur différents paramètres	187
IV.1.3.2	Performances des différentes étapes de la clarification	
IV.1.4	Conditions et limites de fonctionnement des étapes de la clarification	188
IV.1.4.1	Coagulation-floculation	188
IV.1.4.2	Décantation	190
IV.1.4.3	Filtration	190
IV.1.5	Traitement et devenir des boues de clarification	191
IV.2	L'OXYDATION - DÉSINFECTION	193
IV.2.1	Généralités	193
IV.2.2	Le chlore et les chloramines	193
IV.2.2.1	Généralités	193
IV.2.2.2	Propriétés oxydantes	196
IV.2.2.3	Action désinfectante du chlore et des chloramines	201
IV.2.2.4	Qualité de l'hypochlorite de sodium et du chlore	205
IV.2.3	L'ozone	206
IV.2.3.1	Généralités	206
IV.2.3.2	Production et mise en œuvre	207
IV.2.3.3	Propriétés oxydantes	214
IV.2.3.4	Propriétés désinfectantes	217
IV.2.4	Le dioxyde de chlore	217
IV.2.4.1	Généralités	217

IV.2.4.2 La génération	218
IV.2.4.3 Propriétés oxydantes	218
IV.2.4.4 Propriétés désinfectantes	220
IV.2.5 Le permanganate de potassium	222
IV.2.6 Les ultraviolets	224
IV.2.6.1 Généralités	224
IV.2.6.2 Les différents types de lampe et leurs caractéristiques	225
IV.2.6.3 Efficacité du traitement par les ultraviolets	226
IV.2.6.4 Etat actuel de la réglementation	231

IV.3 L'ADSORPTION **231**

IV.3.1 Généralités	231
IV.3.2 Les charbons actifs	232
IV.3.2.1 Origines et fabrication du charbon actif	232
IV.3.2.2 Caractéristiques du charbon actif	233
IV.3.2.3 Théorie de l'adsorption	239
IV.3.2.4 Les domaines d'application du charbon actif	249
IV.3.2.5 La mise en œuvre du charbon actif	254
IV.3.2.6 Les critères d'exploitation	263
IV.3.2.7 Le devenir des charbons actifs usagés	263
IV.3.3 Les autres adsorbants	264
IV.3.3.1 Le rôle de l'alumine activée	264
IV.3.3.2 Les divers autres adsorbants	265

IV.4 LES TRAITEMENTS BIOLOGIQUES **268**

IV.4.1 Elimination des nitrates	268
IV.4.1.1 La dénitrification par voie biologique	268
IV.4.1.2 Les caractéristiques des différents procédés	270
IV.4.1.3 Production des boues	273
IV.4.1.4 Recommandations	273
IV.4.2 Elimination des ions ammonium	274
IV.4.2.1 Origine	274
IV.4.2.2 Principes	274
IV.4.2.3 Facteurs limitants	275
IV.4.2.4 Mise en œuvre	276

IV.4.2.5 Les filtres classiques	276
IV.4.2.6 Les filtres à argile expansée	277
IV.4.3 Elimination du fer	278
IV.4.3.1 Origine	278
IV.4.3.2 Mécanismes d'élimination du fer	278
IV.4.3.3 Conditions de précipitation biologique du fer	281
IV.4.4 Elimination du manganèse	283
IV.4.4.1 Origine	283
IV.4.4.2 Mécanismes d'élimination du manganèse	283
IV.4.5 Conclusions sur l'élimination des composés inorganiques	287
IV.4.5 Elimination du carbone organique	287



LA MISE A L'ÉQUILIBRE CALCO-CARBONIQUE **291**

IV.5.1 Généralités	291
IV.5.1.1 Les eaux naturelles	291
IV.5.1.2 Les eaux douces et les eaux dures	292
IV.5.1.3 Les eaux agressives et les eaux incrustantes	293
IV.5.1.4 Les enjeux	294
IV.5.2 Objectifs	294
IV.5.3 Théorie	295
IV.5.3.1 Les ions en présence	295
IV.5.3.2 Les équilibres	295
IV.5.3.3 Les méthodes d'approche de l'équilibre carbonique, les représentations	296
IV.5.3.4 Le dioxyde de carbone libre, agressif, équilibrant	298
IV.5.4 Traitements utilisables	300
IV.5.4.1 Les traitements de neutralisation ou de reminéralisation des eaux	300
IV.5.4.2 Les traitements de décarbonatation des eaux	301
IV.5.5 Procédés mis en oeuvre	303
IV.5.5.1 L'élimination du dioxyde de carbone	303
IV.5.5.2 La reminéralisation par ajout de dioxyde de carbone et de chaux	303
IV.5.5.3 La reminéralisation par ajout de dioxyde de carbone et neutralisation par du calcaire marin	305
IV.5.5.4 La décarbonatation et l'adoucissement	314



LES TRAITEMENTS MEMBRANAIRES

320

IV.6.1 Généralités	320
IV.6.1.1 Panorama des techniques membranaires en eau potable	320
IV.6.1.2 Sélection du procédé	324
IV.6.2 Conception d'une installation de microfiltration ou d'ultrafiltration	326
IV.6.2.1 La microfiltration	329
IV.6.2.2 L'ultrafiltration	338
IV.6.2.3 Performances de la microfiltration et de l'ultrafiltration	
IV.6.3 Conception d'une installation de nanofiltration/osmose inverse	339
IV.6.3.1 La préfiltration	339
IV.6.3.2 Le pompage haute pression	340
IV.6.3.3 Les membranes	341
IV.6.3.4 Les modules	343
IV.6.3.5 Le principe de conception	344
IV.6.3.6 Les paramètres à prendre en compte	346
IV.6.3.7 Le conditionnement de l'eau prétraitée	350
IV.6.3.8 Nettoyage en place	353
IV.6.3.9 Le dimensionnement d'une installation de NF/OI	355
IV.6.3.10 Les performances	358
IV.6.3.11 Le suivi d'une installation de NF/OI	364
IV.6.4 Les applications et le décret	369
IV.6.4.1 Applications d'enlèvement de contaminants spécifiques	369
IV.6.4.2 Applications à spectre large	370




L'ÉCHANGE D'IONS

371

IV.7.1 Objectifs	371
IV.7.2 Principes et mode de fonctionnement	371
IV.7.3 Procédés, dimensionnement et exploitation	373
IV.7.3.1 Procédés existant sur le marché	373
IV.7.3.2 Critères de dimensionnement	375
IV.7.3.3 Critères d'exploitation	375
IV.7.3.4 Performances	376
IV.7.3.5 Réglementation	377
IV.7.3.6 Recommandations	377

IV.7.3.7 Effets induits par l'échange d'ions	378
--	-----

 LE STRIPPING	379
---	------------

IV.8.1 Les objectifs du traitement par stripping	379
--	-----

IV.8.2 La théorie	379
-------------------	-----

IV.8.3 Mise en œuvre du procédé	382
---------------------------------	-----

IV.8.4 Dimensionnement d'une colonne à garnissage pour éliminer du chloroforme contenu dans une eau souterraine	383
--	-----

V. Annexes	387
-------------------	------------