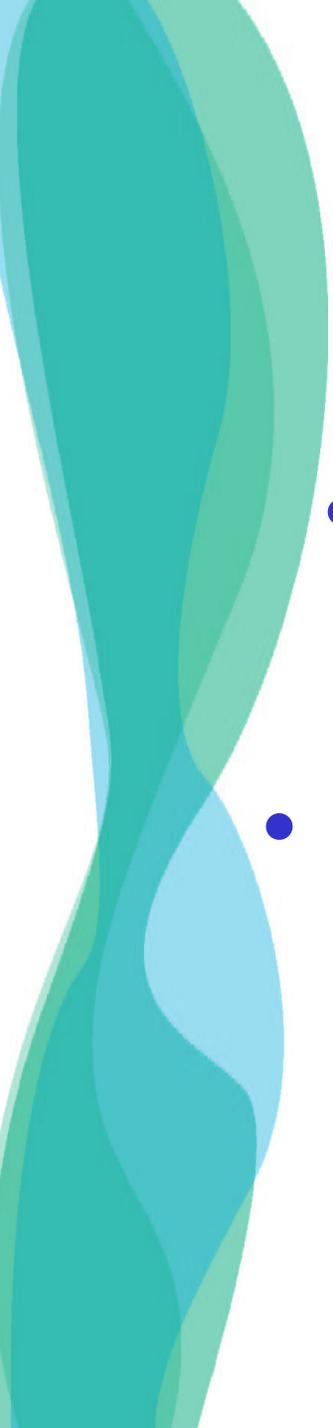




PRESENTATION DE L'OUVRAGE

REGLEMENTATION ET TRAITEMENTS DES EAUX DESTINEES A LA CONSOMMATION HUMAINE

Jean-Pierre DUGUET Coordonnateur

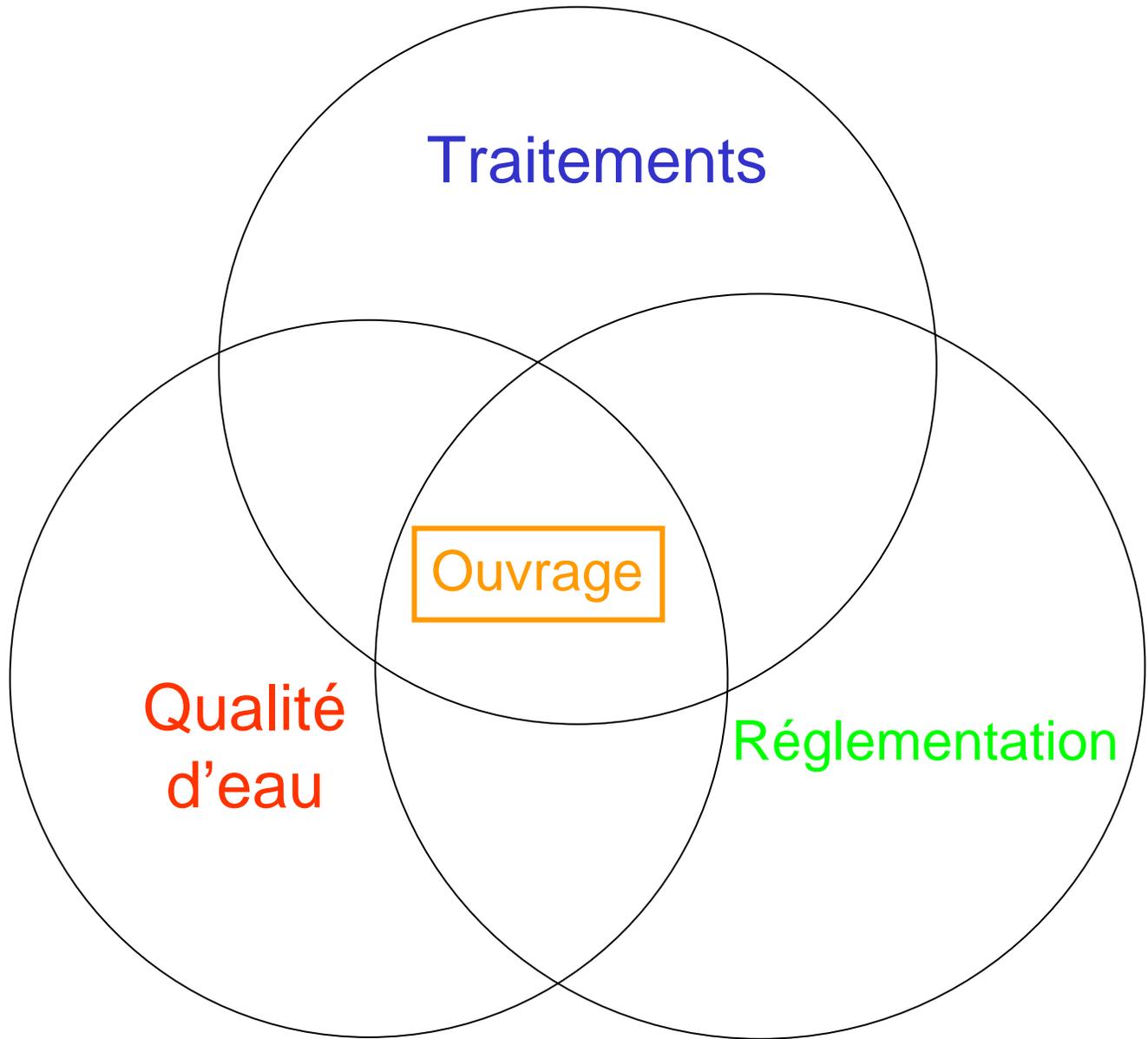


INTRODUCTION

- Nouvelles normes de qualité de l'eau (OMS, Union européenne, France),
- Nécessité de disposer d'éléments explicatifs sur la réglementation et de données de référence dans le même esprit que celui du Vade-mecum du chef d'usine (édité en 1987)

BESOINS

- Éléments réglementaires (changement de normes, gestion des non-conformités, obligations...),
- Informations sur les paramètres (normés ou pas),
- Informations sur les procédés (performances, design et exploitation, autorisation, sous-produits formés, prise en compte des aspects environnementaux,



LE GROUPE DE TRAVAIL

DUGUET Jean Pierre, Direction Qualité & Environnement, [EAU DE PARIS](#)

BERNAZEAU François, Production Paris Ouest, [LYONNAISE DES EAUX](#)

CLERET Daniel, Direction Technique, [VEOLIA EAU](#)

GAÏD Abdelkader, Direction Technique, [VEOLIA EAU](#)

HELMER Cédric, Direction des Métiers, [SAUR](#)

LAPLANCHE Alain, [ECOLE SUPERIEURE DE CHIMIE DE RENNES](#)

MOLES Jacques, Direction Technique du Pôle Eau Potable, [SUEZ-DEGREMONT](#)

MONTIEL Antoine, Direction Qualité & Environnement, [EAU DE PARIS](#)

RIOU Gabriel, Dir.des Collectivités Locales, [AGENCE DE L'EAU LOIRE BRETAGNE](#)

SOMMAIRE

I PRÉSENTATION DU NOUVEAU DÉCRET FRANÇAIS RELATIF A LA QUALITÉ DES EAUX DESTINÉES À LA CONSOMMATION HUMAINE

- I.1.Introduction
- I.2.Les ressources
- I.3 Les eaux en cours de traitement et eaux traitées
- I.4 Les réseaux publics de distribution
- I.5 Le réseau prive de distribution
- I.6 Conclusion

II LES DIFFERENTS PARAMETRES DE QUALITE D'EAU DE CONSOMMATION HUMAINE

- II.1 Les paramètres microbiologiques
- II.2 Les paramètres chimiques
- II.3 Tableau récapitulatif de la traitabilité de chaque paramètre

III CONCEPTION DES FILIERES DE TRAITEMENT

- III.1 Généralités
- III.2 Étude de la conception d'une filière de traitement

IV LES PRINCIPAUX TRAITEMENTS D'EAU DE CONSOMMATION

- IV.1 La clarification
- IV.2 L'oxydation - désinfection
- IV.3 L'adsorption
- IV.4 Les traitements biologiques des eaux de consommation
- IV.5 La mise a l'équilibre calco-carbonique
- IV.6 Les traitements membranaires
- IV.7 L'échange d'ions
- IV.8 Le stripping



EXEMPLE D'EXPLICATIONS EN MATIERE REGLEMENTAIRE

LA TURBIDITE : QUATRE VALEURS DANS LE DECRET !

- 2 NFU pour les eaux brutes souterraines sous influence (variable d'action → filtration)
- 0.5 NFU pour les eaux filtrées sable (référence de qualité)
- 1 NFU pour les eaux mise en distribution (limite de qualité)
- 2NFU pour les eaux au robinet du consommateur (référence de qualité)

ENTEROCOQUES

Limite de qualité : 0 dans 100 ml

Origine

- Les entérocoques appartiennent à la famille des streptocoques et peuvent être pathogènes chez l'homme et provoquer des infections localisées.
- Le groupe des entérocoques rassemble, entre autres, les espèces d'origine intestinale capables de se développer dans des conditions hostiles de croissance (température, pH, milieu hypersalé...). La contamination n'est donc pas toujours directe, elle peut transiter par le milieu naturel.
- Leurs caractéristiques particulières de résistance et de capacité de développement leur confèrent un rôle d'indicateur de traitement. Leur origine, surtout fécale et notamment animale, rend la détection de ces germes intéressante.

Traitements

Prévention :

- Eviter l'introduction de microorganismes dans le réseau (ressource, stockage, transport, distribution) et limiter la prolifération ultérieure de germes en aval du traitement.
 - Les moyens à mettre en œuvre à cette fin concernent :
 - La ressource : Périmètre de protection, entretien des ouvrages de captage, de transport, etc...
 - La distribution : Prévention des retours d'eau et des fuites, caractéristiques des matériaux et des installations, exploitation des réseaux, etc...

Traitements :

- Ils consistent à éliminer les microorganismes par action physique (et biologique) telles que la coagulation et la filtration, et à assurer une action de désinfection (chlore, dioxyde de chlore, ozone, rayonnement ultraviolet).
 - Une étape correcte de coagulation-floculation-décantation-filtration doit permettre une rétention de 99,9 % ($3 \log_{10}$) de ces bactéries.
 - La désinfection chimique constitue la seconde barrière de protection du consommateur. Son efficacité dépend du microorganisme, de son état physique et de la forme sous laquelle il est présent (libre, adsorbé, agrégé).
 - La rétention par les membranes ayant un point de coupure adéquat permet des taux d'élimination très élevés.

• Commentaires

- Plus résistants que les coliformes aux désinfectants, tout comme les virus, les entérocoques constituent d'excellents indicateurs de traitement et de risque de contamination virale.

Voir la fiche *Escherichia coli* concernant les mesures à prendre en cas de contamination microbiologique.

1,2-DICHLOROETHANE ($C_2H_4Cl_2$) PM : 99 g/mole

Limite de qualité : 3,0 $\mu\text{g/l}$

TETRACHLOROETHYLENE (C_2Cl_4) PM : 166 g/mole et

TRICHLOROETHYLENE (C_2HCl_3) PM : 131 g/mole

Limite de qualité : 10 $\mu\text{g/l}$ pour la somme des deux derniers paramètres spécifiés.

Origine

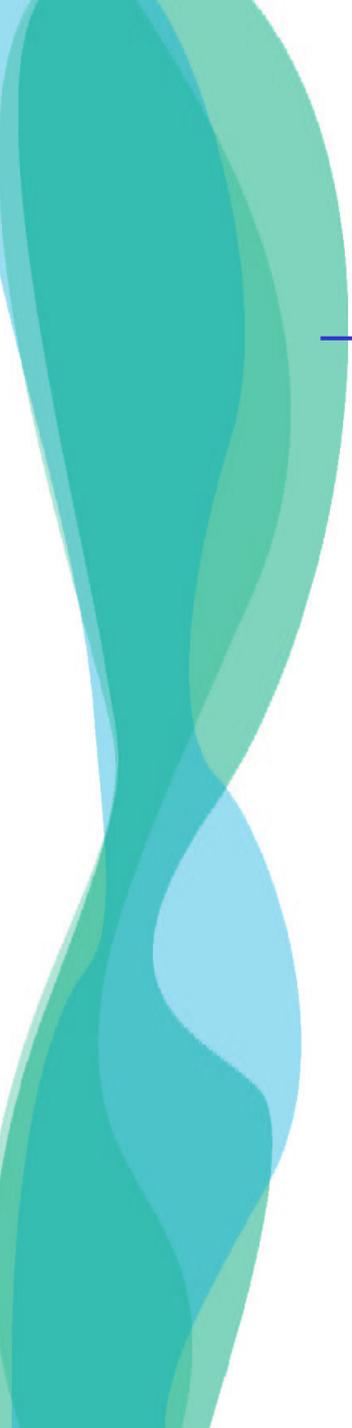
- Le **1,2-dichloroéthane** est utilisé principalement dans la production du chlorure de vinyle et comme solvant lors de diverses synthèses de composés chlorés. Il peut-être également issu de la dégradation biologique du tri et tétrachloroéthylène.
- Le **tétrachloroéthylène et le trichloroéthylène** sont utilisés comme solvants dans l'industrie du nettoyage à sec et pour le dégraissage de pièces dans l'industrie. Le trichloréthylène sert également comme solvant pour les graisses, les cires, les résines, les peintures, etc...
- Pour ces trois produits, un risque de pollution est possible par des rejets en provenance d'industrie, des déversements accidentels d'hydrocarbures ou par les lixiviats d'ordures ménagères qui en contiennent.
- De façon générale, les concentrations dans les eaux de surface sont limitées du fait de leur volatilité importante. Par contre, comme ils sont peu biodégradables et plus denses que l'eau, ils tendent à s'accumuler dans les eaux souterraines après percolation dans le sol (ces composés ne sont pas retenus par les argiles).

Traitements

- **Oxydation** : Les traitements d'oxydation classiques (ozone, chlore et dioxyde de chlore) ne sont pas efficaces dans les conditions de traitement habituelles. L'efficacité de l'ozonation est liée à son action radicalaire. Un procédé d'oxydation avancée est préférable mais nécessite une autorisation officielle.
- **Aération et stripping** :
Le tétrachloroéthylène et le trichloréthylène sont facilement éliminés par "stripping" dans une colonne de contact à garnissage (constantes de Henry élevées) pour des rapports de débits air /eau supérieurs à 8. L'aération a des efficacités modérées. Pour le 1,2-dichloroéthane, les rendements d'élimination sont plus limités (constante de Henry plus faible). Il sera nécessaire de s'assurer que le procédé est bien efficace afin de garantir une Limite de qualité aussi basse que 10 $\mu\text{g/l}$. Dans la plupart des cas il sera impératif de coupler cette opération à un traitement d'adsorption sur CAG. Il existe également des membranes de stripping à base de téflon.
- **Adsorption sur charbon actif** : Le tétrachloroéthylène et le trichloréthylène sont adsorbés (capacité d'adsorption double pour le tétrachloréthylène par rapport au trichloréthylène en moyenne). Par contre, les capacités d'adsorption pour le 1,2-dichloroéthane sont beaucoup plus faibles, rendant inopérant ce traitement. Globalement la durée de vie du CAG, courte vis à vis de ces composés, imposera une régénération très fréquente.

Commentaires

- Les rendements de dégradation par oxydation radicalaire sont variables selon les composés et la qualité des eaux.
- Lors de traitement par stripping, les solvants chlorés sont transférés dans l'air. Il convient de tenir compte de son éventuel impact environnemental (voir législation locale) et d'envisager une éventuelle adsorption sur CAG des solvants dans la phase gazeuse ou une calcination en four à catalyse. Par ailleurs ce procédé aura pour effet de stripper le dioxyde de carbone et ainsi de rendre l'eau incrustante.



CONCEPTION DES FILIERES DE TRAITEMENT

- **III.1. GENERALITES**

- III.1.1. Le cahier des charges
- III.1.2. La définition de la filière de traitement
- III.1.3. Le choix des procédés, des produits et des équipements de traitement
- *Exemple 1 Maîtrise de la désinfection et des sous produits*
- *Exemple 2 Choix du coagulant*
- *Exemple 3 Maîtrise du paramètre "aluminium"*
- III.1.4. Le dimensionnement des ouvrages
- III.1.5. La maîtrise des processus et de la qualité de l'eau
- III.1.6. La définition d'un programme de maintenance

- **III.2. ETUDE DE LA CONCEPTION D'UNE FILIÈRE DE TRAITEMENT**

- III.2.1. La définition de la filière de traitement
- III.2.1.1. Les eaux souterraines
- III.2.1.2. Les eaux de surface
- III.2.2. Les étapes principales d'une filière de traitement
- III.2.2.1. La préoxydation chimique
- III.2.2.2. La clarification
- III.2.2.4. La nanofiltration
- III.2.2.5. La désinfection
- III.2.3. La réhabilitation des filières de traitement

CONCEPTION DES FILIERES DE TRAITEMENT

Exemple 2 *Choix du coagulant*

Ce choix se fera selon plusieurs critères

- Les objectifs d'abattement (turbidité, matières organiques, fer, manganèse, microbiologie),
- La minéralisation de l'eau brute,
- Les traitements aval (traitements biologiques, élimination du fer et du manganèse, désinfection...),
- Les résiduels en sel métallique (nécessité de travailler au pH optimum) et en monomère de flocculant (acrylamide).

Le sous-chapitre III.1.2.1 ci-après décrit plus en détail les critères de sélection.

CONCEPTION DES FILIERES DE TRAITEMENT

« ...La conception d'une filière de traitement nécessite obligatoirement de disposer au préalable d'un ensemble de données analytiques concernant la qualité physico-chimique et microbiologique de la ressource.

Un grand nombre de cahiers de charges n'accorde pas suffisamment d'importance à cet aspect, ce qui oblige le constructeur à faire des hypothèses pouvant se révéler risquées... »

LES PERFORMANCES DES PROCÉDES

Le tableau IV.2.9. récapitule quelques exemples de réactions d'oxydation.

<p style="text-align: center;"><u>Précipitation du fer</u></p> <p>Le fer ferreux est rapidement oxydé en fer ferrique puis hydrolysé en hydroxyde ferrique :</p> $2 \text{Fe}^{2+} + \text{O}_3 \rightarrow 2 \text{Fe}^{3+} \quad \text{Fe}^{3+} + 3 \text{OH}^- \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s}) \quad (0,43 \text{ mg O}_3 / \text{mg Fe})$
<p style="text-align: center;"><u>Précipitation du manganèse</u></p> <p>Le manganèse (+II) oxydé sous forme de Mn (+IV) précipite sous forme de dioxyde de manganèse :</p> $\text{Mn}^{2+} + \text{O}_3 \rightarrow \text{MnO}_2(\text{s}) + \frac{1}{2} \text{O}_2 \quad (0,87 \text{ mg O}_3 / \text{mg Mn})$ <p>Le manganèse est plus difficile à oxyder que le fer surtout lorsqu'il se trouve sous forme complexée avec la matière organique.</p>
<p style="text-align: center;"><u>Oxydation des sulfures</u></p> <p>Les sulfures rencontrés dans les eaux souterraines réagissent très rapidement avec l'ozone pour former, selon le pH, du soufre (à pH acide) ou des sulfates (à pH neutre ou basique) :</p> $\text{S}^{2-} + 4 \text{O}_3 \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + 4 \text{O}_2 \quad (6 \text{ mg O}_3 / \text{mg S})$
<p style="text-align: center;"><u>Oxydation des cyanures</u></p> <p>Les cyanures sont oxydés par l'ozone sous forme de cyanates :</p> $\text{CN}^- + \text{O}_3 \rightarrow \text{CNO}^- + \text{O}_2 \quad (1,85 \text{ mg O}_3 / \text{mg CN})$ <p>Suivant les conditions de pH, les cyanates formés peuvent être totalement minéralisés, plus lentement, sous forme d'azote gazeux (N₂) et de bicarbonates. La réaction est rapide à pH basique.</p>
<p style="text-align: center;"><u>Oxydation de l'azote ammoniacal</u></p> <p>L'ozone ne réagit qu'avec la forme non protonée (NH₃) et pas avec l'ion ammonium (NH₄⁺). Au pH des eaux à traiter dans le domaine des eaux potables, l'azote ammoniacal étant sous forme d'ions ammonium, il n'est donc pas oxydé.</p>
<p style="text-align: center;"><u>Oxydation des nitrites</u></p> <p>L'oxydation des nitrites par l'ozone est très rapide</p> $\text{NO}_2^- + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{O}_2 \quad (1,04 \text{ mg O}_3 / \text{mg NO}_2)$ <p>La production de nitrites, par exemple au cours de traitements de transformation biologique des formes de l'azote peut être la cause d'une demande en ozone supplémentaire à prendre en compte pour réaliser, en aval, une désinfection à l'ozone fiable.</p>

Tableau IV.2.9. Réactions de l'ozone avec différents composés inorganiques

LES PERFORMANCES DES PROCÉDES

Log d'abattement	Température (°C)									
	< 0.5	1	2	3	5	7	10	15	20	25
0.5	12	12	10	9.5	7.9	6.5	4.9	3.1	2.0	1.2
1.0	24	23	21	19	16	13	9.9	6.2	3.9	2.5
1.5	36	35	31	29	24	20	15	9.3	5.9	3.7
2.0	48	46	42	38	32	26	20	12	7.8	4.9
2.5	60	58	52	48	40	33	25	16	9.8	6.2
3.0	72	69	63	57	47	39	30	19	12	7.4

Tableau IV.2.13. Valeurs d'exposition en mg.min.L⁻¹ pour l'inactivation des oocystes de *Cryptosporidium*

LES PERFORMANCES DES PROCEDES

A titre d'exemple, en laboratoire et en réacteur discontinu fermé (sans circulation d'eau et d'ozone) l'inactivation de 4 log de Poliovirus (99,99 %) nécessite le maintien d'un CT de 1,6 mg.min.L⁻¹ (étude de Coin et Gomella).

Pour cette même valeur dans un réacteur infiniment mélangé fonctionnant en continu, l'inactivation n'est que de 1 log (90 %). Dans un réacteur piston, le degré d'inactivation est celui obtenu dans le réacteur discontinu (bêcher) à savoir 4 log.

Dans un réacteur industriel classique correspondant hydrauliquement à quatre réacteurs infiniment mélangés en série, l'abattement calculé n'est que de 2,5 log.

INFORMATION SUR LES ASPECTS AUTORISATION POUR LES PROCEDES

L'OXYDATION RADICALAIRE (OZONE/PEROXYDE
D'HYDROGÈNE) EST-ELLE INTERDITE ?

OUI MAIS NON ...!

- L'oxydation radicalaire est interdite pour transformer les pesticides en sous-produits normés (0,1 µg/l),
- L'oxydation radicalaire peut-être autorisée pour oxyder des composés spécifiques si :

Absence de pesticides dans l'eau,

Les sous-produits d'oxydation du composés ne sont pas toxiques.

LES PERFORMANCES DES PROCEDES

IV.6.2.3.3. *Microorganismes*

	Microfiltration (Pores 0.1 - 0.2 μm)	Ultrafiltration (Pores 0.001 μm)
<i>Cryptosporidium</i> (3-8 μm)	> 5 log	> 5 log
<i>Giardia</i> (7 - 15 μm)	> 5 log	> 5 log
Virus (0.02 - 0.1 μm)	1 log	> 4 log
Bactéries (0.5 - 12 μm)	> 6 log	> 6 log

Tableau IV.6.2. Degré de rétention des différents microorganismes par la microfiltration et l'ultrafiltration

CONSEILS SUR L'EXPLOITATION DES TRAITEMENTS

Au cours du traitement, **le dioxyde de chlore** est majoritairement transformé en ions chlorite alors que le dioxyde de chlore résiduel évolue en ions chlorate et chlorure.

Matières organiques + ClO_2 \longrightarrow ClO_2^- + Matières organiques oxyd.

Toutefois, en eau potable, la consommation de 1 mg de dioxyde de chlore forme de 0,6 à 0,7 mg de chlorite.

La référence de qualité actuelle pour les chlorites étant de 0,2 mg/L, les doses de dioxyde de chlore qu'il est possible de mettre en œuvre sont inférieures au 1 mg/L.

Cela a pour conséquences que le dioxyde de chlore ne peut-être employé en préoxydation, et que son utilisation en post-traitement (désinfection et effet bactériostatique) dans les réseaux, ne peut être réalisée qu'après avoir éliminé les matières organiques et autres composés réducteurs.

CONCLUSIONS

- Évolution rapide et complexification des normes & réglementation et des techniques & chaînes de traitement,
- Nécessité d'explications et de données écrites dans ces domaines pour différents publics (administration, ingénieurs, scientifiques, consultants, enseignants, étudiants...)

C'est la prétention de l'ouvrage

Chaque cas est un cas particulier, il ne donne pas la solution, qui est du ressort des spécialistes, mais permet de dialoguer efficacement avec eux.