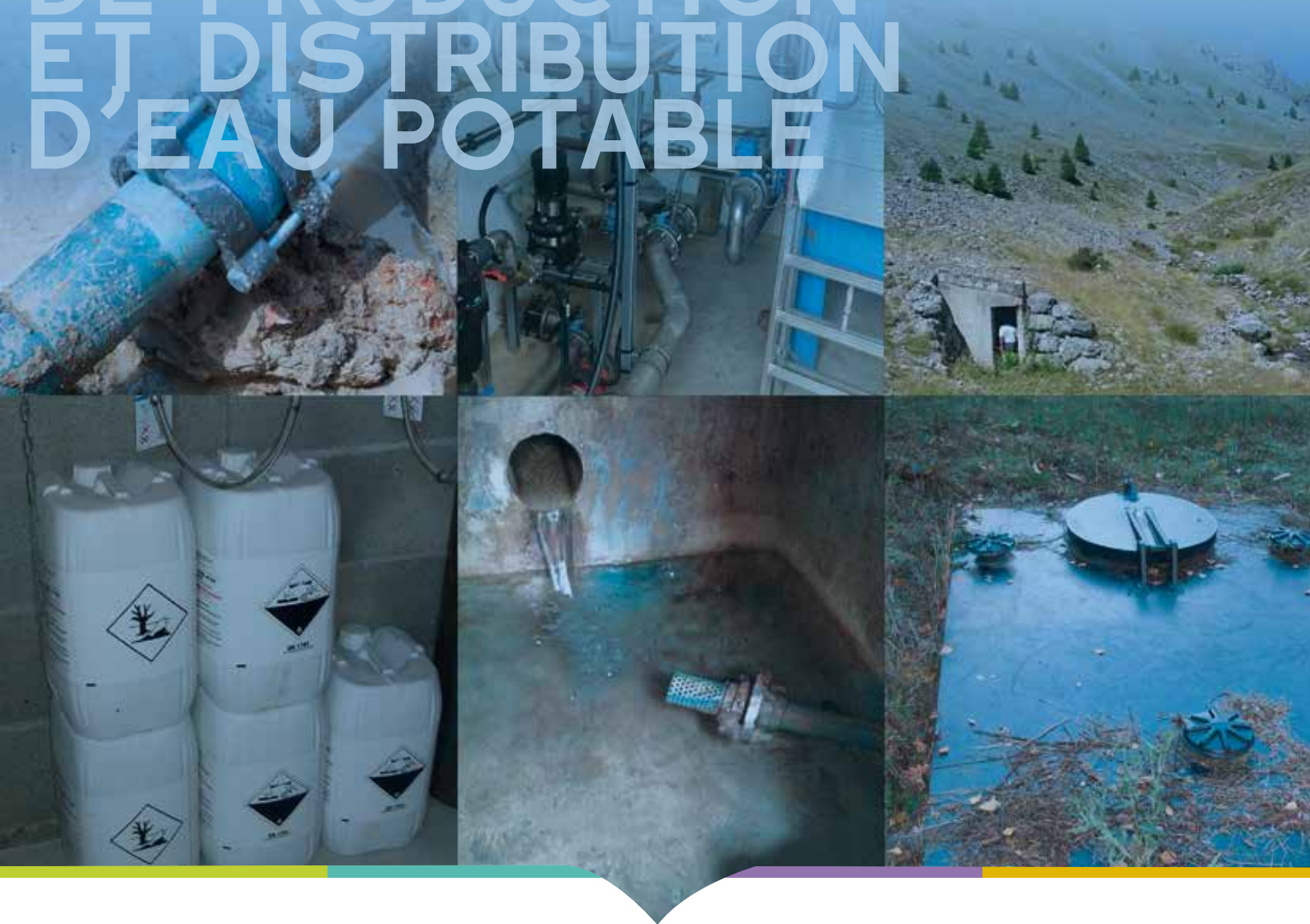


# EXPLOITATION DES PETITES UNITÉS DE PRODUCTION ET DISTRIBUTION D'EAU POTABLE



## PARTIE 2

### Guide de potabilisation des eaux



Ce guide a été élaboré à l'initiative du Ministère chargé de la santé, il s'adresse aux autorités organisatrices, exploitants, maîtres d'ouvrage, et maîtres d'œuvre de petites unités de production et distribution d'eau destinée à la consommation humaine.

Il se compose de deux documents (parties 1 et 2) disjoints mais complémentaires, déclinant des recommandations pour la conception, la construction, l'entretien et l'exploitation de petites unités de production et distribution d'eau. La maîtrise de la qualité de l'eau, notamment microbiologique, depuis le point de prélèvement jusqu'au point de consommation, en constitue le fil conducteur.

La partie 1 propose une succession de fiches-outils indépendantes classées par thème (formation et organisation du personnel, exploitation de réseaux, installations de prélèvement/production/stockage et de traitement). La partie 2, plus complète, détaille les conditions de conception et d'exploitation des unités de production, traitement, stockage et distribution au regard des risques de dégradation de la qualité de l'eau, inhérents à son origine ou aux installations et leur exploitation.

Ce travail résulte des contributions et d'auditions d'Agences Régionales de Santé et de services d'eau potable confrontés à des installations de taille réduite, parfois difficiles d'accès et desservant quelques abonnés. Ainsi, outre le Ministère en charge de la santé pour la confiance qu'il nous a accordée, nous remercions pour leur participation :

- Anne Marie GARDET, Directrice du Syndicat Intercommunal des Eaux de la Belle-Etoile;
- Benoît PALDRUP et Thierry BERGEON, Responsables Process & Qualité des Eaux, Régie Eau d'Azur, Métropole de Nice;
- Michel JAULIN, Maire de la commune de Sainte-Fortunade;
- Olivier NEIGE et ses collaborateurs, Régie des eaux de la commune de Sainte-Fortunade;
- Valérie KOCH, Chef de service "Production Eau Potable", Syndicat des Eaux et de l'Assainissement Alsace-Moselle;
- Laurent FERY, Directeur Technique du Syndicat Mixte d'Amenée d'Eau Potable du Ségala;
- François MANSOTTE, Responsable de l'Unité Territoriale Santé Environnement, ARS de Normandie;
- Fabrice DASSONVILLE, Responsable régional "eaux", ARS de Provence Alpes Côte d'Azur;
- Olivier COULON, Département santé environnement, ARS de Provence Alpes Côte d'Azur;
- Christophe BOUCHOT, Directeur de la Régie Dignoise des eaux;
- Jacky POUGET, Président du Syndicat intercommunal des Eaux des deux vallées et ses équipes
- Maxime FERRE, chargé de mission à la FNCCR;
- Ainsi que l'équipe du département "Cycle de l'eau" de la FNCCR pour la relecture des documents, notamment Marie LAUSTRIAT et Mélissa BELLIER.

**LAURE SEMBLAT,** **ANTOINE MONTIEL,**  
Département Cycle de l'Eau      Ingénieur Retraité de Ville de Paris,  
à la FNCCR                              Docteur es science

---



# TABLE DES MATIÈRES

<b>I. Hiérarchisation des risques induits par l'eau destinée à la consommation humaine (EDCH) lorsqu'elle est contaminée</b>	<b>8</b>
1. Définition des usages de l'eau destinée à la consommation humaine (EDCH)	9
2. Notion de danger et de risque	10
3. Risques en cas d'ingestion, d'inhalation ou de contact	10
4. Risques à court, moyen et long terme	10
5. Connaissance des populations desservies et de leur vulnérabilité à la qualité de l'eau	14
6. Connaissance de la qualité de l'eau brute prélevée pour la production d'EDCH	15
<b>II. Paramètres d'évaluation de la qualité de l'Eau</b>	<b>16</b>
1. Valeurs limites et Références de Qualité	16
2. Eaux souterraines, eaux de surfaces et polluants	19
<b>III. Réglementation en vigueur</b>	<b>21</b>
1. Obligations de règles techniques de prévention et obligations de moyens	22
2. Obligations de suivi de procédures administratives	24
3. Obligations de résultats	25
a. Limites de qualité	25
b. Risques à court terme	25
c. Risques à moyen terme	28
d. Risques à long terme	28
4. Références de qualité	29
a. Risque microbiologique	29
b. Paramètres physico-chimiques	29
c. Paramètres organoleptiques	30
d. Paramètres chimiques	30
5. Obligations de suivi de la qualité de l'eau : contrôle, auto-surveillance	31
6. Obligations concernant la gestion des non-conformités	33
7. Obligations d'information	34
<b>IV. Plan de gestion pour la sécurité sanitaire des eaux destinées à la consommation humaine (PGSSE ou Water Safety Plan/ WSP)</b>	<b>35</b>
1. Identification des dangers directs ou indirects	36
2. Réduction des risques	37
a. Des systèmes préventifs	37
b. Des systèmes passifs par opposition aux systèmes actifs	38
c. Une organisation Qualité : ISO 9001, HACCP, AMDEC	38
3. Quelles nouveautés ?	39
<b>V. Protection des ressources</b>	<b>43</b>
1. Eaux souterraines profondes	43
2. Eaux de nappes phréatiques	43
3. Eaux alluviales	44
4. Eaux influencées par des eaux de surface	44
5. Eaux de surface : rivières ou canaux	45
6. Eaux de surface : lacs et barrages réservoirs	45
7. Eaux de mer	46
8. Les périmètres de protection	46
9. Choix entre eau souterraine et eau de surface	47
a. Avantages des eaux souterraines	47
b. Inconvénients des eaux souterraines	48
c. Avantages des eaux de surface	48
d. Inconvénients des eaux de surface	48

<b>VI. Traitements de potabilisation des eaux les plus utilisés</b>	<b>49</b>
1. Introduction	49
a. Les principaux traitements de rétention	50
b. Les principaux traitements de transformation et de rétention	50
c. Les traitements qui transforment	51
d. Dans le cas particulier de la microbiologie	51
e. Dans le cas particulier des micropolluants organiques	52
f. Conclusion	52
2. Étapes actives ou étapes passives	55
3. Étapes de dilution	56
4. Traitement de base : clarification	56
a. Les prétraitements	56
b. La clarification physico-chimique	58
c. Clarification physique utilisant des membranes poreuses de micro ou ultra filtration	65
d. Clarification biologique de filtration lente	66
5. Choix des types de clarification en fonction de la turbidité des eaux brutes	69
6. Éléments éliminés par ces traitements de base	70
a. Microbiologie	70
b. Micropolluants minéraux	70
c. Micropolluants organiques	72
7. Traitements de désinfection	72
8. Efficacité des traitements de désinfection	72
9. Procédés Thermiques	73
10. Irradiation UV à 260 nm	73
11. Désinfection chimique	75
a. Le chlore	76
b. Problèmes induits par le chlore	78
c. Points critiques à surveiller	78
12. Effet bactériostatique	79
a. L'effet bactériostatique du chlore	79
b. Points critiques	80
<b>VII. Élimination des micropolluants minéraux et organiques</b>	<b>81</b>
1. Micropolluants minéraux	81
a. Micropolluants minéraux naturellement présents dans les eaux	81
b. Le fer et le manganèse	81
c. Les ions ammonium	87
2. Micropolluants minéraux toxiques présents dans les eaux	89
a. Micropolluants minéraux toxiques naturellement présents dans les eaux	89
b. Polluants minéraux présents du fait d'une pollution des eaux	93
c. Les micropolluants minéraux	94
3. Polluants organiques naturellement présents dans les eaux	95
4. Micropolluants organiques présents du fait d'une pollution des eaux	96
a. Évolutions prévisibles de la réglementation au regard des connaissances analytiques	96
b. Évolution prévisible des réglementations en traitements physico-chimiques	97
c. Paramètres à connaître pour prévoir l'efficacité des traitements pour un micropolluant donné	99
5. Les traitements qui retirent (ou extraient) le composé	101
a. Les membranes denses de nano filtration ou d'osmose inverse	101
b. Le stripping	101
c. L'adsorption	101
d. Cas particulier de l'adsorption sur charbon actif	102
6. Traitements qui transforment pour mieux retirer les composés	106
7. Traitements de transformation qui laissent les entités formées présentes dans l'eau traitée	106
<b>VIII. Traitements particuliers</b>	<b>108</b>
1. Traitements de modification de la minéralisation de l'eau	108
a. Traitements de reminéralisation	108

b. Traitements de déminéralisation	109
2. Traitements particuliers applicables aux eaux de surface susceptibles de contenir des cyanobactéries	110
3. Traitements d'élimination des cyanobactéries	112
4. Élimination des toxines	113
<b>IX. Paramètres de maîtrise de ces étapes de traitement</b>	<b>114</b>
1. Pré-traitements physiques	117
2. Traitements de clarification des eaux	118
a. Clarification physico-chimique	118
b. Coagulation	118
c. Floculation	119
d. Décantation ou flottation	119
e. Filtration	121
f. Clarification biologique	124
g. Clarification physique par ultra-filtration	125
3. Traitements de désinfection	126
a. Désinfection chimique	127
b. Désinfection physique	127
4. Traitements d'élimination de micro-polluants minéraux	128
a. Traitements d'élimination du fer et du manganèse	128
b. Traitements de co-précipitation de micropolluants minéraux	130
c. Traitements d'adsorption sélective des micro-polluants minéraux	130
d. Élimination des ions ammonium	130
e. Élimination des ions nitrate	131
5. Traitement d'élimination des micropolluants organiques	133
a. Les charbons actifs en poudre	133
b. Les charbons actifs en grain	133
6. Traitements de modification de la minéralisation globale de l'eau	134
a. Traitements de reminéralisation	134
b. Traitement de décarbonatation ou d'adoucissement	135
c. Traitement final de remise à l'équilibre calco-carbonique de l'eau	137
<b>X. Risques de dégradation de l'eau dans le réseau de distribution</b>	<b>138</b>
1. La qualité de l'eau introduite	138
a. Qualité microbiologique	138
b. Qualité physico-chimique de l'eau	140
2. Le réseau public de distribution de l'eau	141
a. Règles de conception du réseau de distribution	141
b. Le stockage de l'eau	144
c. Soupapes, ventouses et anti béliers	144
d. Maintenance des installations de distribution d'eau	144
e. Interventions lors des "casses" de canalisations (urgence)	145
3. Contamination du réseau public par le réseau privé : Retours d'eau	145
a. Le siphonage	145
b. Le refoulement	146
"Retour d'expérience sur une épidémie de gastro-entérites aiguës d'origine hydrique en Gironde, juillet 2010"	146
c. Moyens de protection	146
4. Guide d'intervention dans le réseau de distribution lors de travaux neufs, d'entretien ou de réparation	147
a. Importance du nettoyage et de la désinfection	147
b. Procédure complète de nettoyage et désinfection des canalisations	148
c. Cas des nettoyages des réservoirs	152
d. Procédures allégées	155
5. Contrôles à effectuer - obligations à satisfaire : information ARS	156
6. Gestion des situations de non-conformité	160
<b>XI. GLOSSAIRE</b>	<b>161</b>





Lorsque la rédaction de ce guide a débuté, plusieurs options étaient envisageables. Ce guide était initialement exclusivement destiné aux petites unités de traitement - distribution d'eau et aux unités de production - distribution des DOM et TOM du fait de leurs conditions climatiques<sup>1</sup>, de leurs conditions d'approvisionnements par mer ou air parfois problématiques<sup>2</sup>, des difficultés à trouver des pièces de rechange sur place et des délais d'approvisionnement très longs.

Une des options aurait été d'écrire un document simple voire simpliste. Cette option n'a pas été retenue, le guide peut être utilisé par tous les services d'eau potable, quelle que soit la taille de leurs installations de production et distribution d'eau, d'une part parce que la qualité de l'eau en France (Métropole et DOM) doit être identique partout quelle que soit la taille des installations de production-distribution d'eau destinée à la consommation humaine<sup>3</sup>, d'autre part parce que dans les DOM ou TOM situés dans des zones tropicales ou équatoriales, les risques microbiologiques sont beaucoup plus importants en raison de la température des eaux (parfois supérieure à celle du corps humain).

En outre, cette seconde partie du guide pourra également servir aux bureaux d'études locaux, consultés par les maîtres d'ouvrage des petites unités de production - traitement - distribution d'eau.

En conséquence, le document présente les informations les plus exhaustives possibles, seules les techniques de traitement des eaux peu ou très rarement utilisées sont rapidement traitées voire non abordées.

## I. Hiérarchisation des risques induits par l'eau destinée à la consommation humaine (EDCH) lorsqu'elle est contaminée

Dans le domaine de l'eau potable, la priorité est de garantir de la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine (EDCH).

Des maladies ou des malaises liés à l'eau peuvent intervenir dans cinq cas :

- le contact direct avec des polluants aquatiques contenus dans l'eau à l'occasion de bains, de soins d'hygiène,... Ce risque chimique est largement inférieur au risque biologique dû aux bactéries, virus, parasites tels les *Amibes*,...
- l'ingestion d'eau d'alimentation : eau de boisson ou de préparation d'aliments (thé, café, potages...)
- l'ingestion d'aliments contaminés par l'eau du milieu naturel récepteur par une simple souillure ou avec transformation et concentration des polluants ou de leurs métabolites par des écosystèmes et contamination de la chaîne alimentaire (par exemple via des éléments comme le mercure, le cadmium, les pesticides...). Dans ce cas, le risque chimique peut être prépondérant
- l'inhalation d'eau : ce risque se traduit par certaines maladies d'origines microbiennes dues à des inhalations d'eau par les circuits de climatisation, les baignades, les douches. Les pathologies sont principalement dues aux légionnelles, certaines mycobactéries, des amibes (*Neagleria Fowleri*)
- le manque d'eau : Ce peut être un risque indirect lié au coût du mètre cube d'eau conduisant à une réduction de la consommation journalière. Une baisse de l'hygiène corporelle peut conduire à l'apparition de maladies

Or le coût du mètre cube d'eau est directement lié à son traitement et donc à la qualité de l'eau dès la ressource. C'est la raison pour laquelle, dans toute gestion de la ressource, les actions préventives doivent être privilégiées aux actions curatives.

<sup>1</sup> Certaines étapes de traitement sont inapplicables : par exemple l'ozone car bien souvent, à des températures supérieures à 30°C, l'air est saturé d'humidité; l'hypochlorite de sodium, (le réactif) se décompose très vite à ces températures.

<sup>2</sup> Le chlore gazeux ou le chlore sous forme d'hypochlorite de calcium est un réactif très corrosif.

<sup>3</sup> EDCH.

## 1. Définition des usages de l'eau destinée à la consommation humaine (EDCH)

Une qualité d'eau adaptée à tous les usages n'existe pas. À chaque usage correspondent des critères ou des normes de qualité à respecter.

Mais quels que soient les usages, les normes doivent toujours assurer que, directement ou indirectement, l'eau ne présente pas de risque pour la santé de l'utilisateur. [La loi 2004/806](#) relative à l'évaluation de la politique de santé publique précise ainsi que les normes relatives à la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine sont fixées en tenant compte des personnes les plus vulnérables.

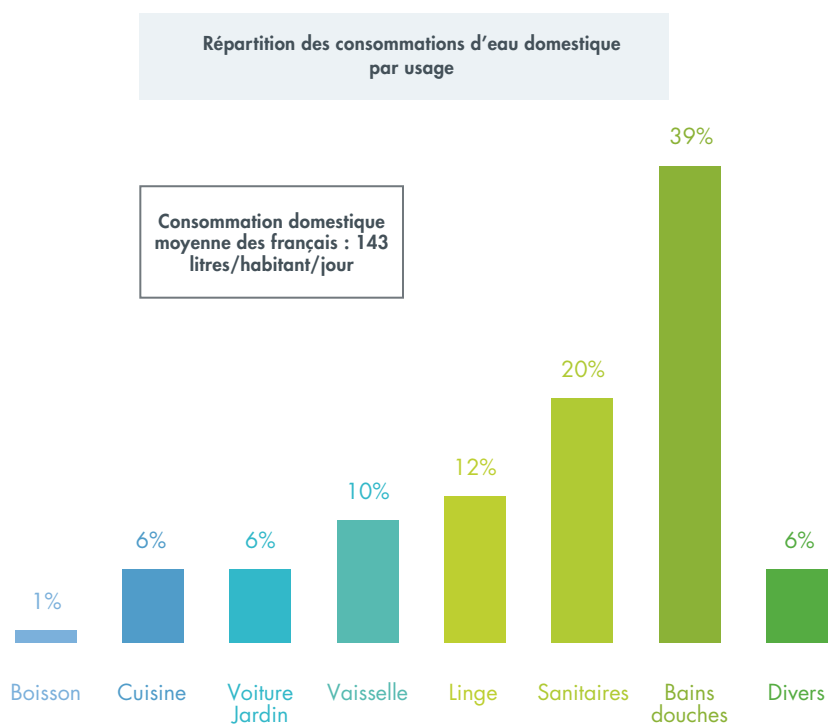
L'Organisation mondiale de la santé (OMS) s'est saisie de ce principe dès la parution de la directive eau potable de 1992, l'Union Européenne l'avait, pour sa part, déjà adopté. Bien que les usages de l'eau soient très divers, les trois directives : [eaux destinées à la consommation humaine à l'exception des eaux minérales naturelles](#) (Directive 98/83/CE), [eaux minérales](#) (Directive 2009/54/CE) ou [eaux de baignades](#) (Directive 2006/7/CE), permettent d'identifier les principaux dangers et risques inhérents à l'eau.

Le présent guide ne traite que de l'eau destinée à la consommation humaine (EDCH).

Les eaux (EDCH) sont distribuées jusqu'au domicile des consommateurs via différents ouvrages : les points de prélèvements, les réseaux publics de distribution, les réservoirs, les traitements éventuels et les réseaux privés de distribution.

Les usages de cette eau concernent, bien sûr la consommation : boisson, préparation des aliments mais également la toilette corporelle (en tant qu'usage domestique).

Si pour les premiers usages, seuls les risques d'ingestion de l'eau sont à prendre en considération, à l'usage de l'eau pour la toilette corporelle, vont s'ajouter les risques d'inhalation (douches) et les risques de contact (bains, douche, toilette).



Sources : Rapport SISPEA 2013 complet et Cieau

En conséquence, les eaux ne doivent ni se dégrader durant leur transport, ni dégrader les ouvrages où elles sont stockées ou s'écoulent.

En outre une fois traitées, les eaux sont injectées dans le réseau de distribution, où elles sont très rapidement utilisées sans aucune possibilité de retour au producteur (à l'inverse de l'industrie alimentaire par exemple). C'est pourquoi il est indispensable pour le distributeur d'eau, en cas de dégradation de la qualité de l'eau, de pouvoir très rapidement identifier si cette dernière présente un risque pour les personnes les plus vulnérables.

## 2. Notion de danger et de risque

Le risque correspond à la probabilité d'être en contact avec un danger multipliée par la gravité de ce danger. Ce risque est donc d'autant plus grand que l'effet du danger sur l'homme est important : maladie très grave ou difficile à guérir (cas de résistance des microorganismes aux antibiotiques ou de traitements inexistants), traumatisme important,...

Les dangers peuvent être d'origines diverses :

- physiques : par exemple la température, l'irradiation,...
- chimiques : toxiques minéraux, organiques, toxines, perturbateurs endocriniens, pesticides,...
- microbiologiques : dus à des organismes pathogènes : virus, bactéries, parasites,...

Il est important d'établir une hiérarchisation de ces risques afin de ne pas se tromper d'objectifs et gérer la qualité de l'eau en priorisant les éléments les plus critiques et les actions correctives à y greffer.

## 3. Risques en cas d'ingestion, d'inhalation ou de contact

Comme déjà précisé, les usages de l'EDCH à domicile sont très divers : boisson, préparation des aliments, toilette corporelle, lavage de la vaisselle, lavage du linge, évacuation des déchets, nettoyage des sols, arrosage. Seuls les trois premiers usages peuvent avoir un rôle direct sur la santé des consommateurs. Mais l'EDCH concerne aussi l'industrie alimentaire et tous les métiers de bouches, ces usages ne devront pas être ignorés en gestion de crise après contamination de l'EDCH et lors de l'instauration de restrictions des consommations.

## 4. Risques à court, moyen et long terme

Il est indispensable de faire la distinction entre les différents risques induits par une eau contaminée à court, moyen ou long terme afin de les hiérarchiser et prioriser les actions à mettre en œuvre :

- les risques à court terme correspondent aux risques encourus en ne buvant qu'un seul verre d'eau ou après un contact unique. La maîtrise de ces risques doit donc être permanente, assurée 24 heures sur 24, 7 jours sur 7 et 365 jours par an.

→ L'eau peut également être source d'allergies, par contact, lorsqu'elle contient des allergènes cutanés (notamment les dermato-toxines ayant pour origine des cyanobactéries qui se développent surtout dans les plans d'eau).

- les risques à moyen terme correspondent à une consommation ou un contact avec l'eau de façon répétée durant des mois voire un an ou plus
- les risques à long terme correspondent à une consommation de l'eau durant de très longues périodes, l'OMS considère une consommation de 2 litres d'eau par jour pendant 70 ans

### **Risque à court terme**

Le risque à court terme, d'origine microbiologique essentiellement, est de loin le plus important et le plus préoccupant. Il concerne aussi, à un niveau beaucoup plus faible, les allergènes chimiques ou d'origine microbiologique (cyanobactéries).

Les agents pathogènes possèdent diverses propriétés qui les distinguent nettement des polluants chimiques : Ils ne sont pas en solution comme les produits chimiques mais se présentent sous forme de particules séparées ou agglomérées. Ils sont souvent agglomérés sur des matières en suspension, le plus souvent sur des colloïdes, en conséquence le risque de contracter une infection n'est pas directement lié à leur concentration moyenne dans l'eau.

La probabilité qu'un pathogène réussisse à s'implanter dans l'organisme et provoque une infection dépend de deux facteurs : sa virulence et l'immunité de l'individu.

En outre, s'il y a infection, la pathogénie se développe dans l'organisme hôte et peut contribuer à l'expansion de l'épidémie par contact : contact direct avec l'hôte ou ses excréments, contamination des aliments ou contamination de la ressource en eau. Certains pathogènes peuvent par ailleurs se multiplier dans les aliments ou les boissons, ce qui augmente les risques de contamination.

Enfin les concentrations tolérables en agents pathogènes sont généralement inférieures aux limites de détection analytiques.

Le risque microbiologique est souvent considéré comme un risque essentiellement rencontré dans les pays en voie de développement. Pourtant Hruday et col (2004) a recensé, dans une étude effectuée dans 15 pays développés, le nombre de malades concernés par des épidémies hydriques suite à la contamination par différents micro-organismes pathogènes. Les résultats sont rassemblés dans le tableau 1. suivant :

PATHOGÈNES CONCERNÉS	NOMBRE D'ÉPIDÉMIES	NOMBRE DE MALADES
<i>Cryptosporidium sp</i>	20	> 451 100
<i>Campylobacter sp</i>	14	> 20 600
<i>Giardia sp</i>	13	> 57 700
<i>Norovirus</i>	12	> 12 200
<i>E. Coli entéro-pathogène</i>	7	> 12 920
<i>Rotavirus</i>	2	11 000
<i>Shigella sp</i>	2	3 400
<i>Virus de l'hépatite A</i>	1	7 900
<i>Salmonella sp</i>	1	650
<i>Toxoplasma sp</i>	1	7 800
Agent non identifié	5	24 000

Une autre étude (AFSSA- septembre 2002- [Rapport sur les "Infections à protozoaires liées aux aliments et à l'eau" : "Évaluation scientifique des risques associés à Cryptosporidium sp."](#)) rapporte les épidémies dues à la présence de *Cryptosporidium* dans l'eau.

ANNÉE	LIEU (VILLE-PAYS)	NOMBRE DE CAS	ORIGINE
1993	Milwaukee (USA)	400000 malades 4400 hospitalisations 69 décès	Modification du traitement (changement de réactif, la turbidité de l'eau est passée de 0,3 NFU à 1,5 NFU)
1993-1994	Clark Country Névada (USA)	101 cas confirmés 32 décès	Pas de relation identifiée avec l'eau
1995	Pays-Bas	15 cas	-
1992	Grande-Bretagne	47 cas	Eau souterraine influencée par des eaux de surface
1992-1995	Grande-Bretagne Pays de Galles	14 épidémies détectées	-

1998	Sète (France)	150 enfants	Point de captage contaminé par une rivière en crue
2001	Darcy le Fort (France)	480 cas	Retour d'eau

Le tableau 2. suivant donne l'historique de la prise en compte des parasites dans les épidémies d'origines hydriques.

ANNÉE	VILLE ET PAYS	MICROORGANISME CONCERNÉ
1933	Chicago (USA)	Amibes : <i>Entamoeba histolytica</i>
1974	Rome (USA)	<i>Girdia lamblia</i>
1987	Carrollton (USA)	<i>Cryptosporidium parvum</i>

La vérification de la qualité microbiologique de l'eau doit être assurée à une fréquence élevée. Ce contrôle va consister soit en une recherche directe de pathogènes (ce qui est très rare et dans bien des cas impossible), soit par une recherche de témoins de contamination fécale.

Toutefois, compte tenu du délai de réponse des analyses microbiologiques (entre 48 et 72 heures), l'eau a été consommée lorsque les résultats en sont connus. Il paraît dès lors illusoire d'envisager de connaître la qualité de l'eau en permanence.

Le contrôle de la qualité de l'eau s'appuie alors sur le suivi d'indicateurs physico-chimiques qui démontrent l'efficacité des traitements préventifs mis en œuvre : la turbidité traduit la bonne clarification de l'eau ; le pH et l'oxydant désinfectant résiduel (après un temps de contact réel) traduisent la bonne désinfection de l'eau et la teneur en ions ammonium et la demande en oxydant de l'eau, lorsqu'ils sont mesurés en réseau, permettent d'évaluer la rémanence de la qualité de l'eau durant la distribution.

Il est donc indispensable de mettre en place des moyens de surveillance (en continu ou de façon discontinue) de ces paramètres et de s'assurer aussi du bon fonctionnement des équipements qui permettent leur mesure (notamment les capteurs en continu ou les moyens d'analyses manuelles de la turbidité, le pH, le résiduel d'oxydant désinfectant...).

En outre, le risque micro biologique va prendre de l'importance à l'avenir du fait des constats suivants :

- le niveau de salubrité des populations s'est nettement amélioré et s'améliore toujours (bien qu'une dégradation nette soit constatée en pays développés)
- l'hygiène alimentaire et l'hygiène en général évoluent
- les personnes sont de moins en moins "naturellement immunisées"
- la population vit de plus en plus longtemps, or l'immunité diminue avec l'âge
- il y a, avec les progrès de la médecine, de plus en plus de personnes immunodéficientes

#### Remarque :

- Les légionelles se développent dans les eaux stagnantes à une température supérieure à 30 °C
- Il ne faut pas oublier les risques à court terme provoqués par des éléments allergènes : certaines toxines de cyanobactéries provoquent soit des picotements, soit des rougeurs après une douche (par exemple). Le nickel peut aussi provoquer des allergies (allergo-toxines).

#### → Remarques propres aux problématique des zones chaudes : tropicales ou équatoriales (DOM et TOM)

La circulation des germes pathogènes n'est pas identique sur toutes les zones climatiques. En zones froides ou tempérées, la température des eaux de surface est significativement différente et plus faible que celle du corps humain. Dans les zones tropicales ou équatoriales, la température des eaux de surface est très proche de celle du corps humain.

→ **Trois types de cycle de développement des microorganismes pathogènes se distinguent**

**a.** Le cycle direct, court, observable dans toutes les zones climatiques : il y a excrétion par un malade ou un porteur sain de pathogènes dans le milieu extérieur avec les matières fécales (homme ou animal à sang chaud).

- ces pathogènes ne connaissent pas de changement morphologique, sauf la multiplication possible pour certains dans les zones chaudes : tropicales ou équatoriales
- l'homme se contamine par voie orale ou, à un niveau plus faible, par contact ou inhalation
- cela concerne les bactéries, virus ou parasites pathogènes (*Amibes, Giardia, Cryptosporidium*)
- les mains sales sont le facteur de contamination prépondérant, et dans une moindre mesure, les mouches ou les blattes

**b.** Le cycle direct long, plus spécifique aux zones chaudes, tropicales ou équatoriales.

- ce cycle est proche du précédent, mais se distingue par le fait que les œufs ou les larves des parasites n'ont pas encore atteint leur stade infectieux lorsqu'ils sont rejetés à l'extérieur avec les selles. Leur pouvoir de contamination s'acquiert en un temps plus ou moins long selon les conditions du milieu (Température, teneurs en matières organiques, etc)
- par exemple, en zones chaudes, les œufs d'*Ascaris* sont contaminants après quatre semaines, les œufs de Trichocéphales au bout de 6 semaines
- ces œufs sont très résistants vis-à-vis des traitements biocides chimiques, seule la rétention est efficace pour les éliminer
- pour les *anguillules*, les *ankylastomes*, la pénétration des larves infectantes se fait par la peau (risque de contact), les sujets infectés rejettent ensuite les œufs et éventuellement les larves qui, à leur tour, deviennent infectantes au bout de quelques jours

**c.** Le cycle indirect ne s'observe que dans les zones chaudes : tropicales ou équatoriales.

- les parasites issus de l'hôte infecté sous forme d'œufs ou de larves n'atteignent leur forme contaminante qu'après passage obligatoire par son hôte intermédiaire lequel assure la maturation des formes infectantes
- certains de ces hôtes indispensables vivent dans les milieux aquatiques.
- pour les *cyclops*, c'est la consommation d'eaux contaminées par ces parasites qui donne la maladie
- pour la *bilharziose*, l'hôte intermédiaire est un mollusque aquatique qui libère des cercaires lesquelles pénètrent par la peau (risque de contact).
- l'eau peut aussi être un lieu de reproduction d'insectes, vecteurs de maladies transmissibles, en particulier les moustiques :
  - *Aedes* : fièvre jaune, dengue, chikungunya
  - *Culex* : filariose lymphatique
  - *Anophèle* : paludisme
  - *Simulie* : onchocercose, lésions oculaires

Certains facteurs contribuent à de nouvelles épidémies d'origine hydrique, notamment :

- les changements climatiques
- les projets de développement de nouvelles ressources notamment les barrages réservoir
- l'irrigation
- les changements de pratiques agricoles
- la réutilisation d'eaux usées non encadrée
- les circulations humaines et la rapidité des transports
- l'utilisation inappropriée d'antibiotiques

→ **Des exemples peuvent être donnés :**

- Egypte : Nil : Le barrage d'ASSOUAN ou lac NASSER : 4 Km de long et 16 Km de large, les eaux courantes ont été transformées en eaux stagnantes. Il y a eu redistribution d'escargots aquatiques : *Bilini truncatus* et *Bimphalaria alexendria*, ce qui a conduit à une diminution des cas de schistosomiasmes urinaires mais une augmentation des cas de schistosomiasmes néphrétiques.
- Sénégal : barrage de Diama sur le fleuve Sénégal ; cela a conduit à l'épidémie la plus importante de *schistosomiasme* intestinale.
- Brésil : Barrage Itaparica (Bahia) ; à la mise en service, 2000 cas de gastroentérites dont 88 décès ont été constatés en 42 jours malgré l'ébullition de l'eau avant sa consommation. L'origine a été attribuée à une très forte prolifération de *cynobactéries* : *anabaena* et *microcystis*.

**Risque à moyen terme** ne concerne plus le risque microbiologique mais essentiellement certains toxiques chimiques : les ions nitrite, nitrate, fluor, le plomb ou des perturbateurs endocrinaux. Cependant la consommation répétée d'une eau où des indicateurs de contamination fécale ont été retrouvés, peut conduire à une maladie lorsque ces indicateurs sont accompagnés de pathogènes.

**Risque à long terme** nécessite l'ingestion de l'eau pendant des années voire des dizaines d'années. Il concerne les toxiques minéraux, des composés organiques et les radioéléments (radioactivité).

## 5. Connaissance des populations desservies et de leur vulnérabilité à la qualité de l'eau

[La loi 2004-806 du 9 août 2004](#) modifiée relative à l'évaluation de la politique de santé publique spécifie bien que le but des normes est de protéger les personnes les plus vulnérables.

En cas de non-conformité de la qualité de l'eau, il est donc important de pouvoir immédiatement alerter ces personnes mais également les hôpitaux, les médecins et les pharmaciens.

Le risque microbiologique portera sur les personnes immunodéprimées et de ce fait sensibles : les personnes malades, mais également les personnes âgées et les femmes enceintes.

Les risques liés au nitrate et au plomb concerneront en priorité les enfants en bas âge et les femmes enceintes.

### Remarque :

- il n'existe aucun antibiotique pour soigner une infection par *Cryptosporidium*, seules les défenses immunitaires peuvent éradiquer le parasite. Toutes les personnes immunodéprimées doivent donc être immédiatement informées en cas de contamination de l'eau au *Cryptosporidium*
- concernant la présence de légionnelles dans l'eau, cette situation est rencontrée dans les circuits d'eaux chaudes<sup>4</sup>, le cas peut se présenter dans les DOM ou les TOM où la température des eaux distribuées dépasse 25°C et bien souvent 30°C, ou dans des systèmes de distribution utilisant comme ressource des eaux de forages très profonds. En métropole mais aussi dans les DOM -TOM, des décès ont toutefois été expliqués par la présence de légionnelles dans le réseau d'eaux chaudes. Les personnes immunodéprimées et les personnes âgées sont les plus vulnérables aux légionnelles
- bien que l'EDCH, n'ait pas pour but de satisfaire aux exigences de l'eau destinée à la dialyse rénale, si celle-ci est pratiquée à domicile, la présence d'aluminium dans l'eau l'interdit. Le traitement par dialyse se fera alors à l'hôpital sous réserve d'en informer l'établissement qui s'équipera d'un traitement adapté

→ Le distributeur d'eau doit donc avoir la liste des personnes à contacter en cas de problème de qualité de l'eau

<sup>4</sup> L'eau froide est à l'origine des légionnelles qui se développent ensuite dans les circuits d'eau chaude.

## 6. Connaissance de la qualité de l'eau brute prélevée pour la production d'EDCH

La qualité de la ressource en eau brute est par définition variable, et ce d'autant plus que c'est une eau de surface ou influencée par de l'eau de surface. La qualité de l'eau distribuée doit quant à elle, être constante. Il est donc impératif de connaître la vulnérabilité de la ressource vis-à-vis de différents paramètres (via une étude de dangers) et surtout la fréquence de variation de ces paramètres.

Cette surveillance relève de la responsabilité du producteur/distributeur d'eau (PRPDE : personne responsable de la production et de la distribution d'eau). Une recommandation simple permet d'optimiser cette surveillance en complément des analyses règlementaires à réaliser au point de production :

- si le paramètre varie à une fréquence annuelle, une analyse dudit paramètre s'impose tous les 6 mois
- si la variation est mensuelle, 2 analyses par mois sont à programmer
- si la variation est hebdomadaire, 2 analyses par semaine sont à programmer
- si la variation est journalière, il faut en fonction de la gravité du danger, une étape de traitement fiable et un suivi de l'efficacité de cette étape, soit 2 à 3 fois par jour, soit un suivi en continu par des capteurs adaptés
- si la variation de la qualité porte sur la biologie,
  - La garantie de rétention des *Cryptosporidium* est obtenue par une étape de clarification qui fournit une eau dont la turbidité est < 0,5 NFU (traitement physique de rétention)
  - Pour les pathogènes bactériens ou viraux, une étape de désinfection effectuée sur une eau de turbidité < 1 NFU<sup>5</sup>, un pH optimum, un résiduel d'oxydant après un temps de contact réel donné<sup>6</sup> ou pour les UV, une dose d'irradiation à 400 J/m<sup>2</sup>. En outre, pour les UV, il s'agira de respecter une turbidité < 0,5 NFU, une teneur en fer et manganèse respectivement < 0,05 et 0,02 mg/L et une transmittance mesurée à 254 nm en cuve de 1 cm > 80%.

→ Ces recommandations peuvent être jugées inacceptables/inapplicables sur les ressources isolées, elles nécessitent toutefois d'être étudiées.

---

<sup>5</sup> 0,5NFU pour un traitement par lampes UV.

<sup>6</sup> Ce résiduel et le temps de contact dépendent d'une part de la qualité de l'eau de la ressource et d'autre part du réactif de désinfection utilisé.



## II. Paramètres d'évaluation de la qualité de l'Eau

### 1. Valeurs limites et Références de Qualité

Les eaux destinées à la consommation humaine (EDCH) présentent des particularités :

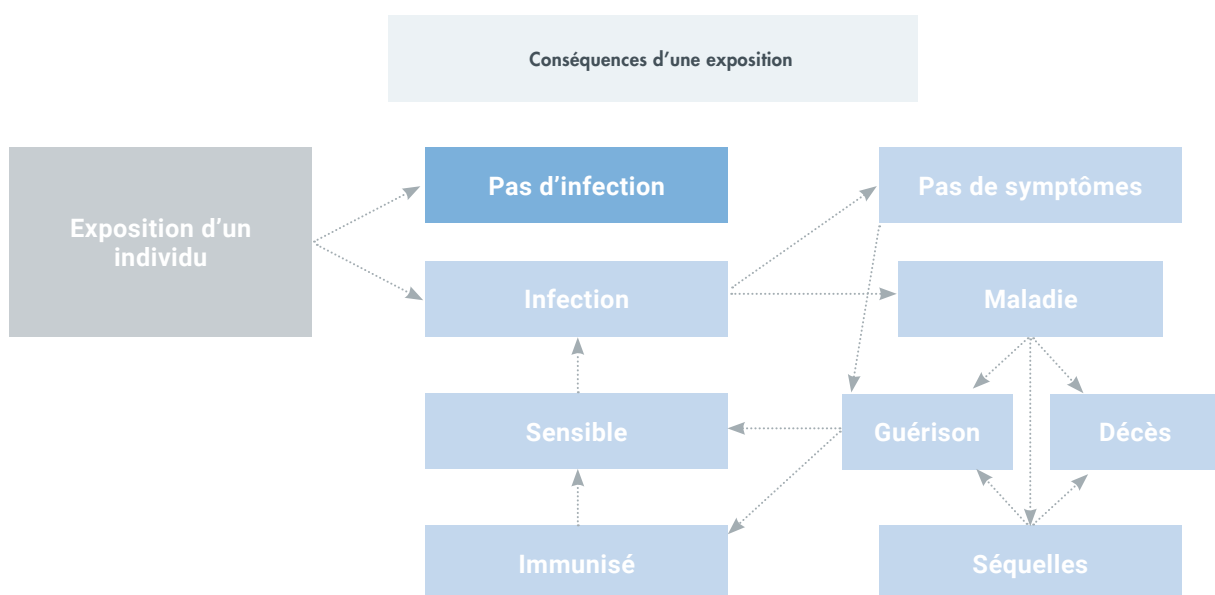
- la production-distribution est un processus continu, l'eau est livrée à domicile
- les délais de mise à disposition entre le prélèvement et la consommation sont très courts. Cela implique que le personnel soit très réactif
- le personnel doit être régulièrement formé pour savoir, dans toutes les situations, pourquoi agir, quand agir et comment agir
- il y a impossibilité de faire des "rappels de lots" comme dans l'industrie alimentaire
- il y a une obligation de continuité de service 24 heures /24, et dans certains cas, l'eau sert à la défense incendie

Cela implique :

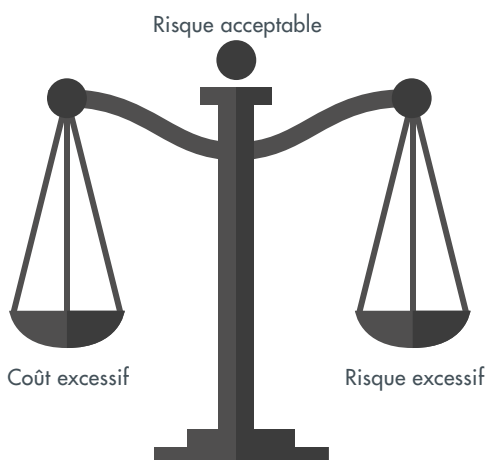
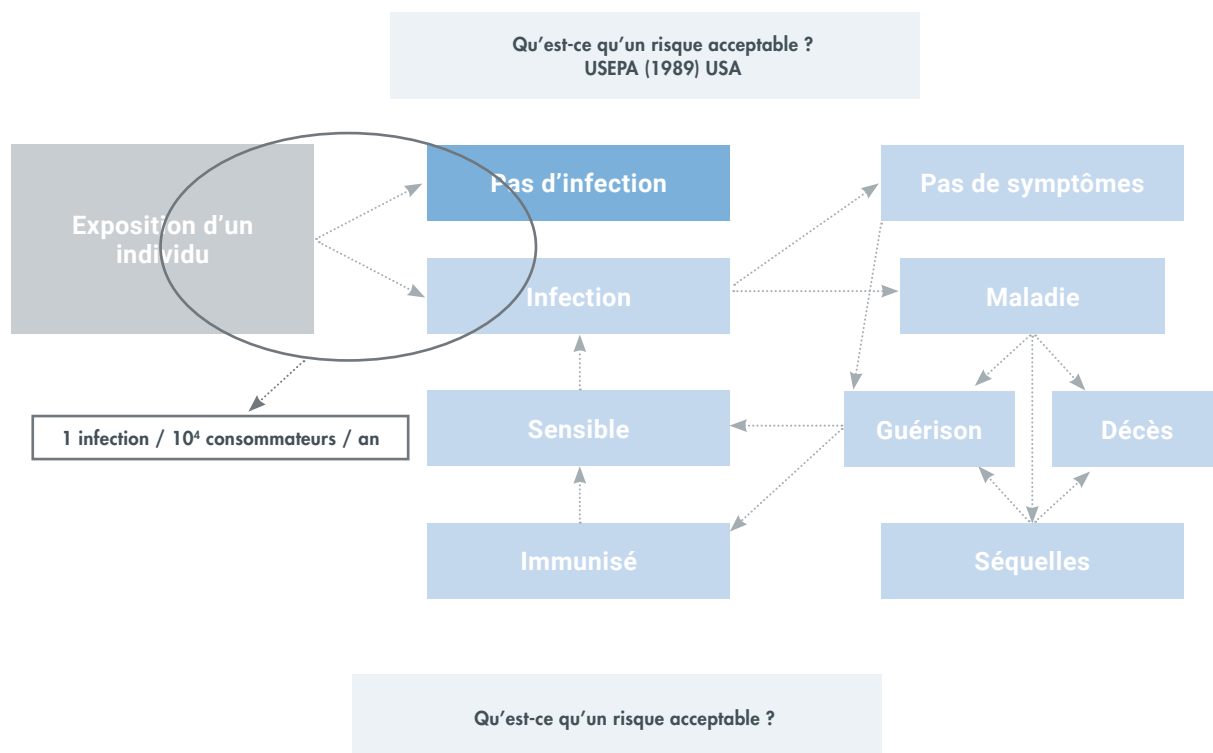
- la sécurisation de l'ensemble du système de production-distribution de l'eau
- une bonne maîtrise des intrants, notamment l'eau brute
- le pilotage des installations par du personnel qualifié, formé et informé, disposant de procédures bien définies, régulièrement
- une surveillance adaptée à tous les dangers identifiés à toutes les étapes de la production-distribution de l'eau : mesures en continu si possible, transmission des informations et surtout réactivité.

Au niveau international, c'est l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) qui définit des valeurs guide pour la qualité pour l'eau destinée à la consommation humaine. Pour chaque élément ou composé, les toxicologues définissent une limite journalière pour la ration alimentaire (dose journalière autorisée - DJA), à partir d'essais effectués sur des animaux (rats le plus souvent). Ils allouent ensuite à l'eau une part de cette DJA qui se situe généralement entre 10 et 20% de la ration alimentaire (sauf exceptions : nitrates 25%, fluor 50% ; chlorites et bromates 80%). Les valeurs guide sont donc basées sur un principe de prévention qui réduit à un niveau acceptable le risque induit par la présence dans l'eau de l'élément ou du composé considéré.

Cette **NOTION DE RISQUE DIT ACCEPTABLE** signifie que le risque **ZÉRO n'existe pas** : la valeur limite fixée résulte d'un compromis entre la réduction du risque et son coût.



Le schéma illustre les différentes formes de réaction d'un individu à une exposition : la notion de risque se situe à la limite en deçà de laquelle l'exposition ne conduit pas à une infection. Mais atteindre le "risque zéro" d'infection représente un coût qui peut être excessif au regard de la faible probabilité d'occurrence ou du faible impact du risque, le risque acceptable<sup>7</sup> est donc **le compromis entre un coût réaliste et un risque "mesuré"**.



Les valeurs limites de la réglementation européenne sont majoritairement issues d'une directive de l'OMS déclinée en 2 volumes. [L'un](#) rappelle les valeurs proposées, [l'autre](#) constitue un document d'accompagnement expliquant toute la démarche qui a précédé la fixation de la valeur proposée. Dans le domaine de la toxicologie, ces documents proposent des données fiables.

Il est donc important de préciser que, si aucune limite n'est proposée pour un élément ou un composé donné, cela ne signifie pas<sup>8</sup> que cet élément ou ce composé n'est pas "toxique", mais qu'il n'existe pas de données pertinentes pour fixer, au stade de la connaissance actuelle, une valeur limite. Dans ce cas, le principe de précaution s'applique, sauf à rechercher si dans d'autres pays, une valeur limite a été fixée par des experts en toxicologie, après études de données pertinentes.

C'est notamment le travail des experts de l'ANSES<sup>9</sup> quand un nouveau composé est détecté dans les eaux destinées à la consommation humaine (EDCH) alors qu'il n'existe aucune valeur au niveau européen ou mondial (OMS).

<sup>7</sup> Risque acceptable : si pour la microbiologie, le risque acceptable est à 10<sup>-4</sup>, pour le risque chimique, le risque acceptable se situe entre 10<sup>-5</sup> et 10<sup>-6</sup>.

<sup>8</sup> Du point de vue de la réglementation européenne.

<sup>9</sup> Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.

Par exemple, l'ANSES a été saisie pour les ions perchlorates, le méthyl ter-butyl Ether (MTBE) et l'éthyl ter butyl ether (ETBE) retrouvés dans des eaux souterraines.

L'OMS évoque parfois d'autres raisons pour ne pas fixer de valeur ou fixer une valeur différente de celle proposée par les experts : une valeur normative ne peut, dans certains cas (notamment en ce qui concerne les risques chimiques), être fixée que si l'on dispose d'une méthode d'analyse fiable pour quantifier le paramètre à la valeur fixée (valeur paramétrique). La méthode d'analyse doit permettre une limite de détection correspondant au 1/10 de cette valeur paramétrique ou une limite de quantification correspondant au 1/3 de cette valeur paramétrique. À défaut (et de façon temporaire), la valeur limite est fixée à 10 fois la limite de détection de la méthode considérée comme "méthode de référence fiable".

- par exemple, la limite de détection des ions bromates de la méthode de référence étant au stade de la connaissance actuelle, de 2,5 µg/l, la limite proposée par l'OMS pour les ions bromate a été modifiée de 3µg/l à 25 µg/l. Depuis le 26 décembre 2008, la réglementation française a fixé une limite de qualité à 10 µg/l.

Lorsque la formation d'un composé fait suite à l'ajout d'un réactif chimique (ce cas se présente régulièrement en traitement de l'eau), la pureté du réactif chimique est alors règlementée ainsi que la dose de traitement à ne pas dépasser. C'est notamment le cas des réactifs contenant de l'acrylamide monomère ou de l'épichlorhydrine.

Dans d'autres cas, notamment pour les pathogènes qui présentent un risque microbiologique à court terme, il n'est absolument pas possible de remonter la valeur de la limite au niveau des valeurs de caractérisation des méthodes analytiques existantes. L'OMS propose alors de substituer les obligations de résultats par des obligations de moyens : c'est à partir du suivi d'indicateurs indirects qu'est garantie l'efficacité du moyen de traitement mis en œuvre.

- par exemple, pour des pathogènes, considérer le risque comme acceptable lorsqu'une tolérance de 1 malade pour 10 000 habitants par an (risque  $10^{-4}$ ) est respectée, revient à abaisser la probabilité de présence
  - de *Cryptosporidium* dans l'eau à moins de 1 dans 79 m<sup>3</sup> d'eau
  - de Rotavirus, à moins de 1/90m<sup>3</sup> d'eau
  - ou *Campylobacter* à moins de 1/10 m<sup>3</sup> d'eau


**Quels objectifs de qualité ?**

Concentration maximale en microorganisme pour un niveau de risque de  $10^{-4}$

- *Cryptosporidium* :  $1,3 \cdot 10^{-5}/L \Leftrightarrow 1/79m^3$
- *Campylobacter* :  $1,05 \cdot 10^{-4}/L \Leftrightarrow 1/10m^3$
- Rotavirus :  $1,1 \cdot 10^{-5}/L \Leftrightarrow 1/90m^3$

→

**Les techniques analytiques disponibles ne permettent pas de vérifier l'atteinte de ces objectifs !**



**WHO (2011), Guidelines for drinking water quality, ch.7**

En effet, pour ces trois pathogènes, les limites de détection des méthodes sont de l'ordre de 1/100 litres d'eau (il est donc impossible de contrôler les probabilités de présence citées ci-dessus à la précision requise). L'OMS a décidé de privilégier la connaissance indirecte de l'eau brute, c'est-à-dire imposer des moyens à mettre en œuvre pour s'assurer de l'élimination de ces pathogènes et imposer des critères de bon fonctionnement desdits moyens.

Ainsi deux rapports édités par l'AFSSA (devenue ANSES) précisent, pour les virus et les *Cryptosporidium*, l'efficacité attendue des différentes étapes de traitement utilisées pour la potabilisation des eaux.

Et dès 2004, alors que l'OMS ne fixait que des obligations de résultats, des obligations de moyens ont été introduites, suivies des "Water Safety Plan" (WSP) - Plan de gestion de Sécurité Sanitaire des Eaux (PGSSE)- à mettre en œuvre progressivement au sein des services d'eau potable.

Au niveau Européen, l'Union Européenne (UE) s'inspire des valeurs de la directive OMS sans toutefois les suivre scrupuleusement. C'est le cas des composés organiques cancérigènes pour lesquels les valeurs de l'OMS ont été divisées par 10 dans la réglementation européenne alors que pour les composés minéraux cancérigènes, la valeur OMS a été reprise.

→ Pour les ions bromates, l'OMS, faute de méthode d'analyse fiable, a fixé la valeur à 10 fois la limite de détection de la méthode de référence, alors que l'UE a retenu 4 fois cette valeur limite de détection, soit 25 µg/L pour l'OMS et 10 µg/L pour l'UE.

Pour les résidus de pesticides, la situation est plus complexe, il existe environ 500 molécules utilisées dans le monde (200 environ en Europe) et l'OMS n'en a étudié qu'une cinquantaine. De nouvelles molécules sont mises sur le marché chaque année, l'UE a donc fixé une limite de 0,1µg/L dans les eaux destinées à la consommation basée sur un principe de précaution pour toutes les molécules, même celles qui apparaîtront dans le futur ainsi que pour tous leurs produits de dégradation ou de réaction (métabolites pertinents). En cas de dépassement temporaire de la valeur limite réglementaire dans l'eau par l'un de ces paramètres, l'ANSES s'appuie alors sur les molécules étudiées par l'OMS ou par un autre pays, pour fixer une valeur maximale qui ne présenterait pas de risque pour les consommateurs sur une durée de consommation limitée.

À l'inverse, les limites OMS n'ont pas toutes été reprises par l'UE, par exemple pour les ions chlorite. En outre, à la différence des limites de l'OMS, celles fixées par l'UE sont impérativement applicables dans tous les États membres (en application du principe de liberté de circulation des denrées alimentaires, ou de l'homogénéité du droit européen : il ne peut y avoir de risque supplémentaire en consommant de l'eau dans un autre État membre).

Les États membres peuvent toutefois, pour certains paramètres, être plus sévères que la directive européenne. C'est le cas, en France, pour les ions chlorite ou le baryum, les toxines algales (qui ne figurent pas dans la directive européenne), voire la turbidité, les valeurs fixées par l'UE étant déjà plus exigeantes que celles de l'OMS.

Par ailleurs, tous les composés susceptibles de se retrouver dans les eaux ne sont pas systématiquement recherchés ou ne font pas tous l'objet d'une limite de qualité. En conséquence, l'article [R.1321-2](#) du Code de la Santé publique précise :

"Les eaux destinées à la consommation humaine doivent, [...] :

- ne pas contenir un nombre ou une concentration de microorganismes, de parasites ou de toutes autres substances constituant un danger potentiel pour la santé des personnes
- être conformes aux limites de qualité, portant sur des paramètres microbiologiques et chimiques, définies par arrêté du ministre chargé de la santé."

En cas de microorganismes ou composés chimiques retrouvés dans les eaux, s'ils ne figurent pas dans les paramètres réglementés, il est de la responsabilité de l'État, avec l'aide de l'ANSES, de définir une limite à respecter sans risque inacceptable pour la santé des consommateurs (ce cas s'est présenté lors de la détection d'ions perchlorate, du MTBE, du dichloronitro phénol, du trichloro anisol, des composés perfluorés ou *Pseudomonas aeruginosa*...).

Enfin, bien que l'OMS ne fixe des valeurs limites que sur les substances qui ont un effet direct sur la santé, l'UE a introduit dans la réglementation applicable à l'eau destinée à la consommation humaine, des substances pour lesquelles il n'y a pas d'effets directs prouvés sur la santé, mais des effets indirects sur la qualité de l'eau. La prise en compte, en France, de ces substances ou organismes s'est traduite par la fixation de **références de qualité**.

Le code de la santé publique a affecté, en outre, différentes obligations à la PRPDE pour garantir la qualité de l'EDCH. En cela, elle a devancé l'OMS et la notion de "Water Safety Plan" (WSP) ou "Plan de Gestion de Sécurité sanitaire des Eaux" (PGSSE) introduite en 2004.

## 2. Eaux souterraines, eaux de surfaces et polluants

Les eaux destinées à la consommation humaine sont prioritairement prélevées dans des eaux souterraines si les quantités nécessaires sont disponibles, ou à défaut, dans les eaux de surface. Dans certaines conditions, les eaux de mer peuvent être aussi utilisées après dessalement.

Les eaux souterraines sont généralement bien protégées par le sol et de ce fait, rarement polluées par les activités anthropiques. Cependant on constate de plus en plus de cas de pollutions diffuses issues de l'agriculture ou de l'industrie (caractérisées par la présence d'ions nitrates, de résidus de pesticides, de solvants chlorés à 1 ou 2 atomes de carbone, chrome hexavalent...).

Certaines eaux souterraines peuvent également être naturellement impropres à la consommation humaine du fait d'un contact prolongé avec des minéraux de l'aquifère et de conditions physico-chimiques particulières (notamment l'absence d'oxygène). Ces minéraux peuvent alors se dissoudre et libérer des éléments toxiques ou indésirables en quantités parfois importantes.

Les principaux cas rencontrés sont les suivants :

- une minéralisation globale trop importante : présence d'ions sulfate, de chlorure, de bicarbonate, de sodium, de calcium, de magnésium...
- la présence d'éléments minéraux indésirables ou toxiques : le fer, le manganèse, le fluor, l'antimoine, l'arsenic, le sélénium, le baryum, le bore, le nickel, la radioéléments (uranium, radium, radon...)
- la présence de matières organiques d'origine naturelle : acides humiques ou fulviques... qui peuvent en présence de chlore et en concentration élevée, conduire à la formation de composés organo- chlorés : THM (trihalomethanes)...

Ces éléments ne sont donc pas des indicateurs de pollutions dues aux activités humaines.

Dans d'autres cas, les eaux sont acides et très peu minéralisées (surtout dans les zones granitiques) et de ce fait très difficilement transportables dans des canalisations métalliques. Elles doivent donc être reminéralisées voire neutralisées.

Le devenir des polluants dans le milieu naturel dépend de plusieurs paramètres :

- la solubilité du composé qui pour les molécules organiques peut être appréhendée par les propriétés hydrophiles ou hydrophobes de la molécule (coefficient de partage octanol/eau : KOW)
- la volatilité des composés, cette volatilité est mesurée par la tension de vapeur à 20°C et la constante Henry
- la capacité de l'élément à réagir avec l'eau elle-même ou les ions présents et la formation de composé insoluble ou volatil

Si les eaux souterraines sont dans leur majorité naturellement potables et naturellement protégées, elles présentent un défaut important : elles ne sont disponibles qu'en quantité limitée et de ce fait parfois difficilement utilisables pour couvrir seules, l'alimentation des grandes agglomérations.

En outre, la qualité de l'eau de certains aquifères dépend des eaux de surface : il s'agit notamment des eaux alluviales qui dans bien des cas correspondent à la filtration par les berges de l'eau de la rivière, ou des eaux de régions où le sol est soit fissuré, soit karstique, avec des infiltrations très rapides.

Pour ces dernières, la législation française a considéré qu'elles devaient être rattachées aux eaux de surface avec les mêmes impératifs de traitement ([Arrêté du 11 janvier 2007](#) relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique (CSP)). Ces "eaux influencées par des eaux de surface" ont pour principale caractéristique de se troubler lors d'épisodes pluvieux avec une turbidité qui peut dépasser 2 NFU (Valeur limite des Eaux brutes).

Les eaux souterraines doivent être protégées vis-à-vis de pollutions ponctuelles, car toute pollution de nappe peut perdurer des années voire des dizaines d'années. C'est la raison pour laquelle, dès 1910, il était conseillé d'établir des périmètres de protection des captages d'eaux souterraines ; l'obligation d'instaurer ces périmètres est apparue pour la première fois dans l'instruction du 12 août 1929, puis a été reprise successivement dans les lois sur l'eau de 1964 et 1992 ainsi que dans la loi de 2004 (loi 2004-806 du 9 août 2004 sur l'évaluation de la politique de santé publique, codifiée dans le code de la santé publique - CSP). Cette dernière loi a fixé un calendrier permettant de suivre toutes les opérations de mise en place de ces périmètres et proposé des simplifications permettant d'accélérer les procédures. Ces périmètres de protection (protections immédiate, rapprochée et éloignée) ont pour but essentiel de réduire les risques de pollutions ponctuelles (CSP : [L 1321-2](#) et [R 1321-13](#)). En ce qui concerne les pollutions diffuses, la réglementation générale reste la plus efficace, notamment la directive "nitrates" ([91/676/CEE](#)) qui impose la délimitation de "zones vulnérables" (à défaut d'amélioration obtenue, dans des cadres plus concertés).

Les eaux de surface sont quant à elles, par définition, polluées\* ou risquent de l'être. Elles nécessitent donc toutes des traitements correctifs. Le traitement minimum à mettre en place doit comprendre une étape de clarification et une étape de désinfection. L'OMS en 1994 dénomme cette chaîne de traitement, le "traitement multi-barrières".

Ces eaux sont disponibles en quantité beaucoup plus importante que les eaux souterraines. Elles sont donc très largement utilisées pour l'alimentation en eau des grandes agglomérations (à l'exception de prélèvements en cours d'eau atypique).

La limite quantitative de prélèvement est définie par la Loi "pêche" (retranscrite dans le code de l'environnement) qui précise qu'après prélèvement d'eau, il faut qu'en tout temps, le débit restant soit supérieur ou égale au dixième du module du cours d'eau calculé sur 5 ans, cela afin de permettre la vie piscicole en toute saison.

En outre, les captages d'eau de surface doivent depuis la loi sur l'eau de 1992, être protégés par des périmètres de protection (protections immédiate et rapprochée). Ces périmètres ont davantage pour objet d'assurer la réactivité des exploitants lors d'une pollution que de proposer une réelle protection de leur ressource.

---

\* impropres à la consommation.

### III. Réglementation en vigueur

La réglementation française est codifiée dans le code de la santé publique (dispositions législatives du code de la santé publique : articles L. 1321-1 à L. 1321-10, dispositions réglementaires articles R. 1321-1 à R. 1321-61, D. 1321-103 à 105) où figurent aussi des dispositions relatives aux sanctions pénales et administratives qu'encourt la PRPDE en cas de non-respect de ses obligations (dispositions législatives : Articles L. 1324-1A à L. 1324-4 et dispositions réglementaires Articles R. 1324-1 à R. 1324-6).

Cette réglementation spécifie différentes règles et obligations que nous pouvons ainsi résumer :

- obligations et règles techniques en matière de prévention et de mise en œuvre de moyens
- obligations de suivi de procédures administratives
- obligations de résultats : eaux brutes, eaux distribuées
- obligations de suivi de la qualité de l'eau
- obligations concernant la gestion des non-conformités
- obligations d'information

	Ressource	Traitement	Distribution
<b>ÉVALUATION DES RISQUES SANITAIRES</b>	<b>RÈGLES TECHNIQUES DE PROTECTION ET DE PRÉVENTION PROCÉDURES ADMINISTRATIVES</b>		
	Périmètres de protection des captages <b>L.1321-2</b> Autorisation d'utilisation <b>L.1321-7, R.1321-6 à 9</b> Autorisation exceptionnelle <b>R.1321-42</b>	Procédés, produits de traitement de l'eau et matériaux au contact de l'eau autorisés <b>R.1321-48 à 54</b>	Conception et entretien des réseaux de distribution <b>R.1321-55 à 61</b> Dérogation <b>R.1321-55 à</b>
	<b>EXIGENCES DE QUALITÉ</b>		
	Limites de qualité à la ressource <b>R.1321-7-II</b>	Limites et références de qualité en sortie de traitement et en distribution <b>R.1321-2 et 3</b>	
	<b>SUIVI SANITAIRE DE LA QUALITÉ DE L'EAU</b>		
	Contrôle sanitaire ARS / labos agréés <b>R.1321-15 à 22</b> Surveillance exploitant <b>R.1321-23 à 25</b>		
	<b>BANCARISATION DES DONNÉES</b>		
	Système d'information en santé environnement sur les eaux (SISE - Eaux d'alimentation)		
<b>GESTION DES NON-CONFORMITÉS</b>		<b>INFORMATION DU PUBLIC ET DE LA COMMISSION EUROPÉENNE</b>	
Mesures correctives <b>R.1321-27 à 29</b> , Information des autorités sanitaires et des consommateurs <b>R.1321-26 à 36</b> , Restrictions/recommandations d'usages <b>R.1321-29</b>		Recommandations d'usage, résultats des analyses <b>R.1321-9, D.1321-103 à 105</b> , Synthèse triennale	
<b>Sanctions administratives et pénales L.1324-1A à 4 et R.1324-1 à 6</b>			

Les tableaux qui suivent reprennent, de façon plus détaillée, chaque obligation figurant dans les différents textes concernant les eaux destinées à la consommation humaine en vigueur ; ceux-ci seront dénommés :

- L.1321-x pour les dispositions législatives du [Code de la Santé Publique](#)
- R.1321-x pour les dispositions réglementaires du Code de la Santé Publique

- D.1321-x : pour les textes de la section IV : Information sur l'eau de distribution publique du Code de la Santé Publique
- A1.x : pour [l'Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine](#)
- A2.x : pour [l'Arrêté du 11 janvier 2007 relatif au programme de prélèvement et d'analyses du contrôle sanitaire pour les eaux fournies par un réseau de distribution](#)

## 1. Obligations de règles techniques de prévention et obligations de moyens

La législation française a devancé de plusieurs années l'approche de l'OMS car le Décret de 1989 (Décret 89-3 du 3 janvier 1989 aujourd'hui abrogé) concernant l'EDCH imposait déjà des obligations de moyens.

Les moyens les plus importants à mettre en œuvre et à respecter sont :

- la mise en place de périmètres de protection afin de préserver la qualité de l'eau voire de l'améliorer. Dans un premier temps, seules les eaux souterraines étaient concernées (1929) puis cette obligation préventive a été étendue aux captages d'eaux de surface. Ce point sera abordé dans un chapitre spécifique
- l'obligation de faire agréer, par l'autorité sanitaire, la chaîne de traitement mise en place, afin de s'assurer qu'elle permet bien, à partir de la qualité de l'eau brute, d'obtenir une eau (EDCH) tout à fait conforme à la réglementation en vigueur notamment lorsque la qualité d'eau brute évolue. C'est la raison pour laquelle le contrôle sanitaire et l'autosurveillance doivent intégrer le suivi de l'évolution de la qualité de l'eau brute
  - l'exemple typique concerne la Bretagne où l'eau de surface s'est progressivement chargée en ions nitrate. L'agrément de la chaîne de traitement, à l'époque, n'avait pas pris en compte ce paramètre qui n'était pas encore préoccupant mais l'est devenu (du fait d'une plainte des consommateurs). L'exploitant a argué qu'il n'était qu'en affermage et que la modification de la chaîne de traitement n'était pas de sa responsabilité. Il a cependant été condamné solidairement avec la municipalité car son rôle était, selon le juge, d'alerter celle-ci sur le fait que la chaîne de traitement n'était plus adaptée à l'eau et ne permettait plus de respecter la réglementation en vigueur. Un problème similaire peut survenir lors de modifications des limites ou des références de qualité. Il est donc important, lors de tels changements, de s'interroger sur la chaîne de traitement et de sa capacité à fournir une eau conforme
  - un autre exemple porte sur le changement des valeurs pour la turbidité de l'eau : le Décret de 1989 fixait la turbidité de l'eau sortie usine à 2 NFU. Actuellement la norme est de 0,5 NFU en sortie de l'étape de clarification et 1 NFU avant l'étape de désinfection. Cette modification a eu une incidence très importante sur la turbidité acceptable dans l'eau brute : la filtration lente classique permet d'abattre la turbidité de l'eau brute d'un facteur 10 à 20 et exceptionnellement d'un facteur 30 ; en application du Décret de 1989, la turbidité de l'eau brute pouvait atteindre 20 à 40 NFU (exceptionnellement 60 NFU). Aujourd'hui, la nouvelle référence de qualité à 0,5 NFU limite la turbidité de l'eau brute à 5 voire 10 NFU et exceptionnellement 15 NFU  
 Pour la coagulation sur filtre, si par le passé des turbidités moyennes de 40 NFU (de 20 à 50 NFU) pouvaient être acceptées, cette valeur est réduite à 10 NFU en moyenne aujourd'hui (de 5 à 15 NFU comme pour la filtration lente classique)
  - un dernier exemple porte sur la modification de la limite de qualité du plomb, de 50 à 10 µg/l; les canalisations en plomb ont alors été progressivement éliminées du domaine public. Les soudures étain-plomb, pour les canalisations en cuivre, étaient aussi interdites
- la chaîne de traitement ne doit être constituée que d'étapes de traitement agréées, soit elles figurent sur la liste de la [circulaire : 166-2000](#), soit elles sont agréées par le ministère chargé de la santé après avis de l'ANSES

### → ATTENTION



Il faut impérativement s'assurer que l'agrément de l'étape de traitement porte bien sur la production d'eau destinée à la consommation humaine (EDCH). Par exemple, une étape de désinfection par rayonnement UV où est inscrit "agrée par le ministère de la santé" n'est pas une garantie suffisante. Cette étape peut être agréée mais pour l'élimination des chloramines d'eau de piscine pour laquelle la dose d'irradiation est de 65 J/m<sup>2</sup> alors que pour la désinfection des eaux potables, la dose d'irradiation doit être de 400 J/m<sup>2</sup>.

- tous les réactifs utilisés pour les traitements, le nettoyage et la désinfection des ouvrages doivent être agréés par le ministère de la santé avec une pureté définie. Ces réactifs doivent soit figurer sur la liste de la circulaire : 166-2000, soit être agréés par le ministère chargé de la santé après avis de l'ANSES
- en outre, il faut s'assurer de l'usage pour lequel le réactif a été agréé. En ce sens, la circulaire DG5/VS4 n°200 – 166 du 28 mars 2000 n'est pas complète et peut parfois induire en erreur. Par exemple, l'eau oxygénée figure sur la liste des réactifs agréés mais uniquement pour un traitement en couplage avec de l'ozone ou des rayonnements UV (soit pour décomposer les solvants chlorés à 1 ou 2 atomes de carbone, à condition que l'eau ne contienne aucun autre micropolluant organique, soit pour le nettoyage et la désinfection des canalisations et réservoirs). En revanche, ce réactif n'a jamais été agréé pour la désinfection des eaux, son effet virucide n'ayant pas été démontré
- tous les matériaux en contact avec l'eau, du captage au robinet des consommateurs, doivent être conformes aux dispositions réglementaires. Il appartient au responsable des installations (PRPDE) de s'assurer auprès des fournisseurs que les matériaux et produits disposent d'une preuve de conformité sanitaire. Concernant les matériaux au contact de l'eau, différentes preuves de conformité sanitaire existent selon la nature constitutive et l'usage du matériau ou de l'objet : Attestation de Conformité Sanitaire (ACS), Certificat de Conformité aux Listes Positives (CLP), Certificat d'aptitude sanitaire (CAS), déclaration sur l'honneur de conformité délivrée par le responsable de la mise sur le marché.

→ **ATTENTION**



L'attestation de conformité sanitaire (ACS) est délivrée par un laboratoire habilité par le ministre chargé de la santé en application de l'article R. 1321-52 du code de la santé publique. La durée de validité d'une ACS est fixée à cinq ans. En outre, les autorisations pour le contact avec des aliments ne sont pas extrapolables à l'eau (EDCH).

Le tableau **3.** ci-après reprend toutes ces obligations précisées dans le code de la santé publique (CSP).

RESSOURCE	TRAITEMENT	DISTRIBUTION PUBLIQUE	DISTRIBUTION PRIVÉE
- Eau de surface. Qualité de l'eau de surface <b>R.1321-38, R. 1321-39</b>	- Chaîne de traitement agréée <b>L.1321-4, R.1321-6, R.1321-7</b>	- Définition du réseau de distribution <b>L.1321-4, R.1321-4</b>	- Règles d'hygiène à respecter <b>R.1321-46, R.1321-55</b>
- Vérification de la qualité des eaux <b>R.1321-6</b>	- Constituée d'étapes agréées <b>L.1321-4, R.1321-6, R.1321-7</b>	- Obligation de modifier la qualité de l'eau <b>R.1321-55</b>	- Matériaux agréés <b>L.1321-4, R. 1321-48</b>
- Mise en place de périmètres de protection avec identification des dangers <b>L.1321-2, L.1321-2-1, R.1321-8, R.1321-13 à 14</b>	- Modification de filière <b>R.1321-11</b>	- Matériaux agréés <b>L.1321-4, R.1321-48, R.1321-49</b>	- Plomb interdit <b>R.1321-49</b>
- Études sur les risques de malveillance <b>R.1321-23</b>	- Eaux non conformes avec obligation de mesures correctives <b>R.1321-26, R.1321-27, R.1321-28</b>	- Réactifs agréés et de pureté définie <b>L.1321-4, R.1321-50</b>	- Conception pour ne pas polluer le réseau public <b>R.1321-57</b>
- Matériaux au contact de l'eau agréés <b>L.1321-4, R.1321-48, R.1321-49</b>	- Obligation de modifier la qualité de l'eau avant sa distribution <b>R.1321-26, R.1321-29</b>	- Produits de nettoyage et de désinfection des ouvrages agréés. <b>L.1321-4</b>	- Traitements collectifs agréés <b>R.1321-53</b>
	- Matériaux au contact de l'eau. <b>L.1321-4, R.1321-48, R.1321-49</b>	- Règles d'entretien et d'interventions <b>L.1321-4</b>	- Réactifs agréés et de pureté définie <b>L.1321-4, R.1321-50</b>
	Réactifs de traitement. <b>L.1321-4, R.1321-50</b>	- Plomb interdit, soudures au plomb interdites <b>R. 1321-49</b>	- Canalisation utilisée comme terre <b>R.1321-59</b>
	- Les eaux souterraines influencées par des eaux de surface doivent être traitées comme des eaux de surface. <b>A1. Annexe II.B</b>	- Obligation de nettoyage et désinfection des réservoirs <b>R.1321-50, R.1321-54, R.1321-56</b>	- Entretien des réservoirs privés <b>R.1321-60</b>



Ces règles et obligations ont un but de prévention et de limitation des risques de contamination de l'eau destinée à la consommation humaine.

Toutefois, si tous les intrants nécessaires aux traitements de l'eau peuvent être contrôlés avant leur réception, ce n'est en revanche pas possible pour l'eau brute quand bien même il s'agit de l'intrant principal.

## 2. Obligation de suivi de procédures administratives

Le tableau 4. suivant fait le récapitulatif de ces obligations du code de la santé publique.

RESSOURCE	TRAITEMENT	DISTRIBUTION PUBLIQUE	DISTRIBUTION PRIVÉE
<ul style="list-style-type: none"> <li>- DUP pour les périmètres de protection <b>L.1321-2, L.1321-2-1, R.1321-8, R.1321-13, R.1321-14</b></li> <li>- Autorisation de prélèvement <b>L.1321-7, R.1321-8</b></li> <li>- Autorisation exceptionnelle eau superficielle : <b>R.1321-42</b></li> <li>- Composition du dossier à présenter à l'administration <b>R.1321-6</b></li> <li>- Obligations en relation avec le code de l'environnement <b>L.215-13</b></li> <li>- Eaux brutes non-conformes <b>R.1321-40, R.1321-41, R.1321-42</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Autorisation d'exploiter : <b>L.1321-2, L.1321-7, R.1321-6 à 9, R.1321-11 à 12</b> pour les modifications</li> <li>- Agrément de la filière de traitement (CODERST) <b>R.1321-6, R.1321-7</b></li> <li>- Autorisation par le préfet de distribuer l'eau produite <b>R.1321-10</b></li> <li>- Modification de filière <b>R.1321-11, R.1321-12</b></li> <li>- Modification d'usage d'un réactif <b>R.1321-11, R.1321-12</b></li> <li>- Eau non conforme obligation de déclaration au préfet.</li> <li>- Tenue d'un carnet sanitaire <b>R.1321-23</b></li> <li>- Obligations en relation avec le code de l'environnement : autorisation de rejet dans le milieu naturel; devenir des boues</li> <li>- Recyclage des eaux de lavage des filtres</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Éléments descriptifs du réseau <b>L.1321-4. R.1321-6</b></li> <li>- Amenées d'EDCH à ciel ouvert interdite <b>L.1321-8</b></li> <li>- Autorisation par le préfet de distribuer l'eau produite <b>R.1321-10</b></li> <li>- Conception et entretien des réseaux de distribution: <b>R.1321-55 à 61</b></li> <li>- Procédure dérogation <b>R.1321-26 à 36</b></li> <li>- Modifications du réseau de distribution <b>R.1321-6</b></li> <li>- Bilan de fonctionnement du système de distribution <b>R.1321-25</b> (&gt;3500 hab)</li> <li>- Potentiel de corrosivité de l'eau vis-à-vis du plomb <b>R.1321-49</b></li> <li>- Nombre de branchements en plomb supprimés <b>R.1321-49</b></li> <li>- Fréquence annuelle de nettoyage et désinfection des réservoirs <b>R.1321-56</b></li> <li>- Tenue d'un carnet sanitaire <b>R.1321-23</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Matériaux et traitements <b>R.1321-53, R.1321-54</b></li> <li>- En cas de non conformité de la qualité de l'eau due aux installations privatives, le préfet s'assure que les propriétaires sont informés des mesures à prendre <b>R.1321-47</b></li> </ul>

Comme dans le cas des obligations de moyens, cette procédure d'autorisation est une réelle sécurité pour le producteur-distributeur d'eau. Durant l'instruction du dossier d'autorisation, les services de l'état, par exemple, vérifient que la chaîne de traitement proposée est bien apte, à partir d'une qualité d'eau brute donnée, à produire une eau (EDCH) conforme aux obligations de résultats en vigueur.

### 3. Obligations de résultats

Le producteur-distributeur d'eau est **responsable** de la qualité de l'eau distribuée uniquement jusqu'au compteur de l'abonné. Cependant la qualité de l'eau se mesure à un robinet normalement utilisé pour la consommation. En cas de non-conformité décelée au robinet du consommateur, il faudra identifier si la mauvaise qualité de l'eau relève des installations du producteur-distributeur d'eau ou du fait du réseau privé de distribution.

En outre, le distributeur d'eau peut être contraint à modifier la qualité de son eau pour qu'elle ne détériore pas les canalisations des réseaux privés ce qui aurait pour conséquence de dégrader la qualité de l'eau et conduirait à des non conformités (il s'agit notamment du respect de l'équilibre calco-carbonique, l'eau doit être légèrement incrustante). Cependant la PRPDE garde une obligation d'information des propriétaires sur les risques encourus en fonction des matériaux utilisés en réseaux privés. C'est notamment le cas des canalisations en plomb pour lesquelles la PRPDE a l'obligation d'information des abonnés sur le potentiel de corrosivité de l'eau.

Si des traitements complémentaires sont effectuées, sur décision de la PRDE, au niveau du réseau privé, la dégradation de la qualité de l'eau qui en découlerait le cas échéant engage le responsable de la distribution de l'eau au sein du réseau intérieur.

Les limites et références de qualité ainsi que les modalités de contrôle de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine sont fixées par arrêtés du ministère chargé de la santé.

Le tableau 5. ci-après récapitule toutes ces obligations.

RESSOURCE	TRAITEMENT	DISTRIBUTION PUBLIQUE	DISTRIBUTION PRIVÉE
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limites de qualité eaux brutes <b>A1. Annexe II</b></li> <li>- Limites de qualité eaux brutes superficielles <b>A1. Annexe III</b></li> <li>- Le préfet fixe les valeurs que doivent respecter les eaux brutes <b>R.1321-38</b></li> <li>- Le préfet sollicite l'avis du Ministère en charge de la santé en cas de dépassement d'une limite de qualité <b>R1321-7II</b></li> <li>- (Ces obligations ne doivent pas conduire à une dégradation de la ressource <b>R.1321-4</b>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Adéquation : chaîne de traitement/qualité de l'eau brute/ qualité de l'eau traitée <b>R.1321-2 et 3</b></li> <li>- (Certains paramètres se mesurent en cours de traitement : turbidité eau filtrée, turbidité avant étape de désinfection)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Obligation de résultats : limites de qualité, référence de qualité <b>R.1321-2, R.1321-3, R.1321-5. A1. Annexe I</b></li> <li>- Moins de 50% des analyses de contrôle se font dans le réseau public.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Obligation de résultats : limites de qualité, référence de qualité <b>R.1321-2, R.1321-5, A1. Annexe I</b></li> <li>- Plus de 50% des analyses de contrôle se font dans le réseau privé, au robinet des consommateurs.</li> </ul>

#### a. Limites de qualité

Ces limites ne concernent que des éléments, des composés (que l'on désignera par la suite par "paramètres") dont la présence dans l'eau peut conduire, à court terme, moyen terme ou long terme, à des effets néfastes sur la santé des consommateurs. Pour mémoire, seuls ces éléments sont pris en compte par l'OMS.

#### b. Risques à court terme

Le risque à court terme est d'origine microbiologique et cela concerne tous les pathogènes, qu'ils soient des bactéries, des virus ou des parasites.

Le tableau 6. suivant en donne une longue liste qui n'est cependant pas exhaustive.

ORIGINE DE L'INFECTION	Ingestion	Ingestion	Ingestion	Inhalation ou aspiration	Contact
TYPE D'INFECTION	Intestinale	Intestinale	Intestinale	Respiratoire	Peau, muqueuses, oeil
TYPE DE PATHOGENE	Bactéries	Virus	Parasites		
	<i>Campilobacter sp</i>	<i>Adénovirus</i>	<i>Cryptosporidium hominis, parvum</i>	<i>Adénovirus</i>	<i>Acanthamoeba spp</i>
	<i>E.coli</i>	<i>Astrovirus</i>	<i>Cyclospora caytanensis</i>	<i>Entérovirus</i>	<i>Burkholderia pseudomallei</i>
	<i>Francisella tularensis</i>	<i>Entérovirus</i>	<i>Dracunculus medinensis</i>	<i>Legionella pneumophila</i>	<i>Leptospira spp</i>
	<i>Salmonella</i>	<i>Virus de l'hépatite A</i>	<i>Entamoeba histolytica</i>	<i>Mycobactéria naegleria, fowleri, kansasii</i>	<i>Mycobacteria schistosoma, mansoni</i>
	<i>Salmonella typhi</i>	<i>Virus de l'hépatite E</i>	<i>Giardia intestinalis</i>	<i>Staphylocoque doré</i>	<i>Pseudomonas aéruginosa</i>
	<i>Shigella</i>	<i>Norovirus</i>	<i>Toxoplasma gondii</i>		<i>Staphylocoque doré</i>
	<i>Vibrio cholerae</i>	<i>Rotavirus</i>			
		<i>Sapovirus</i>			

Comme la recherche de ces pathogènes à titre individuel est d'une part tout à fait aléatoire (ils ne sont pas toujours présents), d'autre part difficile voire impossible du fait de leur nombre et des différents temps de réponse, ces pathogènes ne sont pas recherchés lors du suivi régulier de la qualité de l'eau.

Dès le début des années 1900, époque où seul le risque dû à l'ingestion de l'eau était pris en compte, il a été proposé de s'orienter sur la recherche de germes témoins de contaminations fécales. Ces germes témoins de contaminations fécales sont présents en plus grand nombre que ne le sont les pathogènes eux-mêmes dans les eaux contaminées et sont plus faciles à rechercher et à détecter (ils apportent une certaine sécurité puisque plus facilement détectables). Ils doivent cependant présenter des propriétés particulières :

- être présents en très grand nombre dans les intestins des animaux à sang chaud, en comparaison du nombre de pathogènes
- être spécifiques aux intestins des animaux à sang chaud et ne pas se retrouver naturellement dans le milieu naturel
- ne pas se multiplier dans le milieu naturel

#### → ATTENTION

Cette condition de non multiplication en milieu naturel est vérifiée en zones tempérées, mais ne l'est absolument pas pour les zones chaudes (tropicales ou équatoriales), qui concernent la plupart des DOM et TOM.

- être plus résistants que les pathogènes d'origines intestinales sur deux aspects : survie dans le milieu naturel d'une part et vis à vis des traitements, notamment la désinfection, d'autre part (indicateurs de survie)
- être facilement détectables, sans risque d'interférence avec les microorganismes normalement présents dans les eaux

Cependant si de tels germes ont été identifiés, d'autres questions se posaient :

- constituent-ils un indicateur extrapolable à toutes les eaux ? Pour les eaux chaudes des zones tropicales ou équatoriales les risques d'interférence existent (puisque les eaux ont des températures proches de celles du corps humain), ce qui conduit ces germes à se multiplier dans l'environnement. En réponse, certains chercheurs proposent d'ajouter le *Bifidobactérium* pour ces régions

- constituent-ils un indicateur extrapolable à tous les pathogènes ? la réponse est non notamment pour les virus et les parasites (*Cryptosporidium* ou *Giardia*). Il faudra donc compléter la surveillance par d'autres obligations de moyens permettant ensemble de garantir une très faible probabilité de présence de ces paramètres
- constituent-ils un indicateur extrapolable à toutes les maladies hydriques ? la réponse est non, avec la nouvelle définition de l'eau destinée à la consommation humaine, il peut y avoir des maladies dues à l'inhalation de l'eau ou au contact avec celle-ci.

En outre, certains pathogènes ne sont pas d'origine fécale. Cela concerne par exemple les légionelles (*Legionella pneumophila*) qui génèrent un risque en cas d'inhalation ou les *Staphylocoques dorés* et *Speudomonas aëruginosa* qui génèrent un risque par contact. Ces germes se retrouvent naturellement dans les eaux et ne peuvent donc être pris en compte comme les indicateurs de contamination fécale.

À l'heure actuelle, deux germes indicateurs de risques liés à l'ingestion d'eau ont été sélectionnés au niveau international par l'OMS, l'UE et la France :

- *Eschérichia coli* (E. coli) : germe témoin de contamination fécale dont la survie dans le milieu naturel est supérieure à celle de bactéries pathogènes par ingestion de l'eau (indicateur de survie)
- les *entérocoques intestinaux* : germes témoins de contamination fécale dont la survie dans le milieu naturel est supérieure à celle de bactéries pathogènes par ingestion de l'eau mais aussi plus résistants aux traitements de désinfection chimique qu'E. coli ou d'autres bactéries pathogènes par ingestion de l'eau (indicateur de survie et d'efficacité vis-à-vis des traitements physiques ou chimiques de désinfection)
- E. coli et les entérocoques intestinaux présentent une résistance comparable vis-à-vis des traitements UV.
- les bactéries sporulées anaérobies sulfite réductrices (BASR) sont des bactéries de l'environnement indicatrices d'efficacité d'un traitement par rétention physique : la clarification. Ce sont des spores dont le diamètre est de l'ordre du micron.



→ **ATTENTION**

Ces indicateurs de survie ne sont valables que pour les bactéries mais pas pour les virus ou les parasites.

En conclusion :

- Si une eau brute contient l'un ou l'autre de ces germes témoins ou les deux, leur simple présence permet de conclure que **l'eau est contaminée microbiologiquement** (probablement par d'autres pathogènes)
- Si en sortie d'usine, ces deux germes sont absents, la désinfection a été suffisante
- Si ces deux germes sont retrouvés, la désinfection est inefficace : l'eau n'est pas conforme
- Si seuls les entérocoques ou les E.Coli sont retrouvés, la désinfection a été insuffisante
- Si ces deux germes sont retrouvés dans le réseau, cela signifie que la désinfection n'a pas été suffisamment longue ou qu'il y a eu contamination au sein du réseau (en aval de la mise en distribution)

Concernant les pathogènes bactériens qui induisent des risques d'inhalation ou de contact, ils sont directement recherchés dans les eaux s'il y a présomption de leur présence : c'est le cas des légionelles dans les réseaux d'eau chaude.



→ **ATTENTION**

S'il est certain qu'une eau non contaminée ne contient pas ces germes témoins, une eau qui ne contiendrait pas ces germes pourrait toutefois être à l'origine de maladies notamment virales ou parasitaires. Par conséquent, il y a d'autres obligations, de moyens ou de résultats, pour d'autres paramètres, indicateurs indirects de risques microbiologiques, parmi lesquels la turbidité de l'eau.

Une eau trouble (ou turbide) traduit la présence de substances colloïdales dans l'eau (à la frontière entre l'élément soluble et insoluble) qui peuvent être d'origine minérale (argiles) ou organique (substances humiques). Ces colloïdes sont chargés négativement, ils se repoussent les uns les autres et ne peuvent donc pas s'agglomérer pour ensuite précipiter. Une eau colloïdale ne se clarifie donc pas naturellement. Ces colloïdes retiennent les particules très petites chargées positivement (comme les virus), ainsi que des micropolluants minéraux ou organiques (par adsorption). Elles servent de support à de nombreuses bactéries, qu'elles protègent des oxydants utilisés pour la désinfection de l'eau ou des rayonnements ultra-violetts.

→ Dès 1994, l'OMS précisait que, quelle que soit la dose de chlore ajoutée, si la turbidité de l'eau était supérieure à 1 NFU<sup>10</sup>, la désinfection ne pouvait être garantie.

En France, la limite de qualité de la turbidité de l'eau, à respecter avant toute désinfection par voie chimique est en conséquence fixée à 1 NFU<sup>11</sup>, alors que la directive européenne de 1998 n'en fixe pas.

→ La **turbidité** est aujourd'hui considérée au même titre qu'un paramètre microbiologique.

Autant, nettoyer une plaie avant de la désinfecter semble logique, autant cet automatisme n'est pas toujours transposé au domaine de l'eau destinée à la consommation humaine. Or, dans le domaine de l'eau potable, "ON NE DESINFECTE QUE CE QUI EST PROPRE"

### c. Risques à moyen terme

Les risques à moyen terme sont toujours liés aux paramètres chimiques, et concernent peu d'éléments :

- les ions nitrites et indirectement les ions nitrates qui se transforment en ions nitrites
- les ions fluorure
- le plomb
- les perturbateurs endocriniens

Le développement effectif du risque ne se produira qu'en cas de consommation de l'eau non-conforme sur plusieurs mois (de 3 mois à une, voire deux années).

### d. Risques à long terme

Comme pour le risque à moyen terme, cela ne concerne que des paramètres chimiques qui, présents dans les eaux consommées durant de longues périodes, peuvent par accumulation conduire à des effets néfastes pour la santé. Ce sont essentiellement des toxiques chimiques minéraux ou organiques et des éléments radio-actifs.

L'Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine en dresse la liste.

Concernant les paramètres toxiques issus du traitement de désinfection de l'eau (THM totaux pour une désinfection par le chlore et les ions bromate pour une désinfection à l'ozone), l'arrêté du 11 janvier 2007 modifié précise qu'il y a nécessité de respecter une dose de désinfectant telle qu'elle génère la "valeur la plus faible possible [en concentration de sous-produit] inférieure à cette limite de qualité [...] sans pour autant compromettre la désinfection".

Il s'agit donc de doser la désinfection au minimum afin de permettre d'une part le respect de la conformité en microbiologie de l'eau et d'autre part de limiter au maximum les concentrations de ces sous-produits. Cette recommandation figure aussi dans les directives OMS et de l'UE.

<sup>10</sup> La turbidité de l'eau est mesurée par une méthode photométrique de référence internationale et l'unité adoptée est l'unité NFU (formazine nephelometric unit).

<sup>11</sup> Pour les traitements par rayonnement UV la turbidité de l'eau doit être inférieure ou égale à 0,5 NFU, l'idéal serait < 0,3 NFU.

## 4. Références de qualité

Les références de qualité correspondent à des paramètres qui indiquent un risque indirect d'évolution défavorable de la qualité de l'eau.

### a. Risque microbiologique

- les références peuvent porter sur des indicateurs d'inefficacité de l'étape de désinfection : les coliformes totaux par exemple. Cette famille de germes n'a pas systématiquement une origine fécale. En revanche, certains d'entre eux sont beaucoup plus résistants aux traitements de désinfection chimique et physique, et leur présence dans l'eau indique ou confirme que la désinfection est défectueuse (et ce notamment, si des entérocoques intestinaux sont également présents dans l'eau).
- les spores de bactéries anaérobies sulfite-réductrices (BASR) sont des groupes de germes (rarement d'origine fécale), qui sont rencontrés en grand nombre dans toutes les eaux de surface. Ces spores, dont la taille est de 1 µm environ, sont de bons indicateurs de rétention de spores, kystes ou oocystes, œufs d'*animalcules*. Retrouvés dans les eaux filtrées, ils mettent en évidence une mauvaise clarification et filtration de l'eau. Cependant la limite fixée à < 1/100mL ne suffit pas pour garantir l'absence de risque parasitaire.

→ Les Cryptosporidioses ont permis une prise de conscience du **risque induit par les parasites**.

Si les BASR sont retrouvées dans des eaux souterraines, cela signifie que le sol n'a pas joué pleinement son rôle de rétention et que ces eaux "souterraines" sont en fait des eaux influencées par des eaux de surface. Il a cependant été constaté que lorsqu'un forage où l'eau est très bien filtrée par le sol, reste à l'arrêt pendant une période allant de six mois à plusieurs années, ces spores peuvent être retrouvées.

- les bactéries banales, présentes dans l'environnement naturel, peuvent aussi être utilisées comme indicateurs de détérioration de la qualité de l'eau en distribution
- en réseau de distribution, si les numérations de germes aérobies revivifiables tant à 22°C qu'à 36°C (germes banaux) varient de plus d'un facteur 10 dans une même zone, cela met en évidence soit une stagnation de l'eau, soit une dégradation de sa qualité pour d'autres raisons à identifier
- il a été montré que la transformation, dans l'organisme, des ions nitrates en ions nitrites était favorisée par la présence importante de germes dans l'eau consommée
- la turbidité de l'eau à la sortie d'une étape de filtration, mesurée en fin de clarification, est un bon indicateur d'efficacité de rétention de microorganismes très résistants aux traitements de désinfection classique qui suivent la clarification. La référence de 0,5 NFU a donc été fixée pour s'assurer de la rétention des parasites *Giardia* et *Cryptosporidium* au stade de la clarification.

→ **La dilution** est une étape de traitement agréée par le ministère chargé de la santé pour tous les **paramètres physico-chimiques** ; elle est interdite pour tous les paramètres microbiologiques et la turbidité maintenant assimilée à un paramètre microbiologique..

### b. Paramètres physico-chimiques

- la conductivité de l'eau permet indirectement de connaître sa minéralisation globale. Une conductivité faible indique que l'eau est très peu minéralisée et va avoir un très faible pouvoir de protection des canalisations métalliques (fer, cuivre, zinc, plomb) par dépôt sur celles-ci. Pour ces eaux, un traitement de minéralisation va conduire à une conductivité supérieure à 200 µS/cm à 25°C. À l'opposé, une forte conductivité caractérise une eau très minéralisée qui peut être incrustante et/ou corrosive vis-à-vis des métaux. **Le suivi en continu de la conductivité de l'eau permet de mettre en évidence des mélanges avec des eaux de minéralisation tout à fait différentes.**
- la température de l'eau : plus celle-ci est élevée, plus les risques de dégradation de la qualité microbiologique de l'eau sont élevés (le cas de la prolifération des légionnelles est le plus typique). Par ailleurs, certaines réactions chimiques sont accélérées dans les eaux chaudes : la désinfection de l'eau, les réactions secondaires avec les oxydants, les traitements de biotransformation. L'adsorption sur charbon actif, quant à elle, est ralentie en eau chaude dépassant 25°C. Mais dans les filtres à charbon actif, les eaux chaudes (>15°C) favorisent les développements de bactéries et d'*animalcules*.

- le pH de l'eau aussi un rôle important :
  - si le pH est supérieur à 8, lors d'une désinfection par le chlore ou ses dérivés, la désinfection risque d'être compromise
  - si les eaux sont acides, les risques de corrosion des canalisations métalliques sont élevés
  - à pH acide (< 6,2) ou alcalins (> 7,5) les sels d'aluminium utilisés pour la clarification de l'eau sont solubles
  - le pH permet aussi de s'assurer que l'eau est à l'équilibre calco-carbonique, légèrement incrustante. Cela permet une bonne protection des canalisations et des ouvrages par le dépôt d'une fine pellicule de carbonate de calcium

### c. Paramètres organoleptiques

Ces paramètres sont directement appréciés par les consommateurs, le dépassement de ces références de qualité peut conduire à des plaintes.

Cela concerne :

- la couleur, qui peut aussi révéler des phénomènes de corrosion ou la remise en suspension de dépôts de canalisations
- la turbidité de l'eau, mesurée au robinet du consommateur (2 NFU), donne des indications similaires à celles de la couleur
- le goût (odeur ou saveur) de moisi, de vase et de terre indique la présence de molécules sapides qui ont échappé au traitement ou ont été générées dans le réseau de distribution. Le goût de chlore indique soit un résiduel de chlore trop élevé, soit (le plus souvent) que l'eau contient des composés aminés qui ont échappé au traitement et ont réagi avec le chlore pour donner du chlore combiné très sapide (les chloramines, dichloramines et surtout des trichloramines très volatiles que l'on sent lorsque l'on prend une douche).

### d. Paramètres chimiques

Dans l'eau, ces éléments peuvent re-précipiter et conduire à l'accumulation de dépôts dans les canalisations avec consommation de l'oxydant résiduel, formation de zones d'anoxie voire réduction des ions nitrates en ions nitrite, générant alors de mauvais goûts et post-proliférations bactériennes.

Il s'agit :

- 1. Du fer**, qui est en outre, un indicateur de corrosion des canalisations ou d'une mauvaise clarification ou déferrisation de l'eau.
  - comme le fer ferreux est oxydé catalytiquement en ions ferrique par les rayonnements UV et que ces derniers se déposent sur les tubes de quartz des lampes UV (et en inhibent alors l'effet désinfectant), pour une désinfection par UV, la teneur en fer de l'eau ne doit pas dépasser 0,05 mg/l.
  - la présence de fer dans l'eau peut induire des tâches sur le linge lors du lavage et sur l'émail des sanitaires.
- 2. Du manganèse** qui aurait échappé au traitement (lors d'une mauvaise démanganisation, il s'agit d'une remise en solution du  $MnO_2$  déposé sur les média filtrants) : une fois oxydé, le manganèse peut aussi se déposer dans les canalisations métalliques et conduire à des corrosions électrochimiques par effet de pile (piques).
  - comme le manganèse divalent est oxydé catalytiquement en  $MnO_2$  par les rayonnements UV et que ces derniers se déposent sur les tubes de quartz des lampes, pour une désinfection par UV, la teneur en manganèse de l'eau ne doit pas dépasser 0,02 mg/L
  - la présence de manganèse dans l'eau peut induire des tâches sur le linge lors du lavage et sur l'émail des sanitaires
- 3. De l'aluminium** : qui peut également avoir échappé au traitement, lors d'une mauvaise étape de clarification (son origine peut être aussi un mauvais pH lors de l'étape de clarification). Cet élément peut se retrouver dans des dépôts de canalisations et être remis en suspension lors de modification des vitesses ou du sens d'écoulement de l'eau (dès que la teneur dans l'eau traitée dépasse 0,05 mg/L, le risque de dépôts dans les canalisations et de remise en suspension n'est pas nul).
- 4. Du cuivre** ; cet élément, pour lequel une limite de qualité est fixée à 2 mg/L, est également doté d'une référence de qualité, à une concentration de 1mg/L. Cette référence permet d'être alerté d'une corrosion des canalisations en cuivre au niveau du réseau privé de distribution. La présence de cuivre dans l'eau colore l'émail des sanitaires en bleu-vert.

5. Du **carbone organique COT** est constitué d'une part de carbone organique stable, réfractaire et d'autre part de carbone organique dissous biodégradable (CODB). Cette fraction permet des post-proliférations bactériennes dans le réseau de distribution. Le COT peut aussi réagir avec les oxydants laissés dans l'eau à des fins bactériostatiques, ce qui réduit l'effet de ces oxydants et génère des composés secondaires de réaction (notamment avec le chlore, il y a formation de composés organochlorés : THM).
6. Des **ions chlorites**, qui peuvent aussi jouer ce rôle d'indicateur : au moment de l'étape de désinfection avec du bioxyde de chlore, plus l'eau contient de matières organiques, plus le bioxyde de chlore se transformera en ions chlorites. On estime à 50% le taux de transformation du bioxyde de chlore en chlorites lorsque celui-ci est totalement consommé.
7. Des **ions ammonium**, qui peuvent aussi induire des post proliférations bactériennes et s'oxyder en ions nitrites. Ils peuvent également réagir avec le chlore pour former des chloramines qui ont un effet de désinfection très atténué et conduire à des composés sapides.
8. Des éléments permettant de vérifier le **maintien d'un oxydant à effet bactériostatique** : c'est le cas par exemple du chlore libre et combiné ou du bioxyde de chlore. Si ces éléments sont en concentration trop élevée, ils peuvent être à l'origine de plaintes des consommateurs. Mais leur absence peut induire des post proliférations bactériennes.
9. Des ions chlorure, sulfate et sodium, qui sont des paramètres indicateurs d'une forte **minéralisation de l'eau**, ils dénotent une corrosivité importante de l'eau et des caractéristiques gustatives pouvant déplaire aux consommateurs.
10. Une contamination volontaire d'un réseau de distribution par **des pathogènes** ou **des toxines** conduirait à la disparition totale du chlore libre (ces pathogènes ou ces toxines contiennent des milieux riches en protéines qui réagissent avec le chlore). Dans le cadre de la prise en compte des risques de malveillance, il a donc été demandé :
  - d'une part d'envoyer dans le réseau de distribution, une eau présentant une concentration d'au moins 0,3 mg/l de chlore libre et de s'assurer qu'en tout point du réseau, il restait une concentration d'au moins 0,1 mg/L de **chlore libre** (teneur facilement mesurable). Le suivi du **chlore total** ne permet pas cette mise en alerte car les protéines conduisent à la formation de chlore combiné.
  - d'autre part de suivre le résiduel de chlore libre dans le réseau de distribution et de se mettre en alerte dès qu'une zone présentait une disparition totale du chlore libre.

## 5. Obligations de suivi de la qualité de l'eau : contrôle, auto-surveillance

### Le contrôle réglementaire :

Les frais d'analyses du contrôle officiel imposé par l'autorité sanitaire sont à la charge du producteur d'eau. **L.1321-10, R.1321-19, R-1321-21.**

Le tableau 7. suivant récapitule les différentes obligations de suivi.

RESSOURCE	TRAITEMENT	DISTRIBUTION PUBLIQUE	DISTRIBUTION PRIVÉE
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contrôle officiel <b>R.1321-15</b></li> <li>- Programme d'analyses de contrôle officiel <b>A2.Annexel-1.1, A2.Annexe II tableau1</b></li> <li>- Programme d'analyses d'auto-surveillance <b>R.1321-23, R.1321-19, R-1321-21</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- L'exploitant doit connaître en permanence la qualité de l'eau <b>L.1321-4, R.1321-23</b></li> <li>- Programme d'analyses d'auto-surveillance <b>L.1321-4, R.1321-23</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- L'exploitant doit connaître en permanence la qualité de l'eau <b>L.1321-4, R.1321-23</b></li> <li>- Contrôle officiel <b>R.1321-15</b></li> <li>- Programme d'analyses d'auto-surveillance <b>L.1321-4, R.1321-23</b></li> <li>- Programme d'analyses de contrôle <b>A2.Annexe I-1.1, A2.Annexell tableau 2</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contrôle officiel <b>R.1321-15</b></li> <li>- Contrôle sanitaire <b>R.1321-15 à 22</b></li> <li>- Programme d'analyses de contrôle officiel <b>A2.Annexe I-1.1, A2.Annexell tableau 2</b></li> <li>- Organismes de prélèvement des analyses de contrôle <b>L.1321-5, R.1321-19, R.1321-20</b></li> </ul>



<ul style="list-style-type: none"> <li>- Adaptation du programme d'analyses de contrôle officiel <b>R.1321-16, R.1321-17</b></li> <li>- Organismes de prélèvement des analyses de contrôle <b>L.1321-5, R.1321-19, R.1321-20</b></li> <li>- Laboratoires agréés pour les analyses de contrôle <b>L.1321-5, R.1321-21, R.1321-22</b></li> <li>- L'exploitant doit connaître en permanence la qualité de l'eau <b>L.1321-4, R.1321-23</b></li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Programme d'analyses avant toute mise en distribution/service <b>A2.Annexel-1.2</b></li> <li>- Adaptation du programme d'analyses de contrôle officiel <b>R.1321-16, R.1321-17</b></li> <li>- Organismes de prélèvement des analyses de contrôle <b>L.1321-5, R.1321-19, R.1321-20</b></li> <li>- Laboratoires agréés pour les analyses de contrôle <b>L.1321-5, R.1321-21, R.1321-22</b></li> <li>- Réduction du contrôle sanitaire au profit de l'auto-surveillance <b>R.1321-24</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Laboratoires agréés pour les analyses de contrôle <b>L.1321-5, R.1321-21, R.1321-22</b></li> <li>- Le préfet peut faire effectuer des analyses <b>R.1321-18</b></li> <li>- Surveillance <b>R.1321-23 à 25</b></li> </ul>
--	--	--	---

Les deux<sup>12</sup> arrêtés du 11 janvier 2007 modifiés fixent :

- les limites et références de qualité pour ces éléments
- le contenu d'analyses type à effectuer : RP, RS, RSadd, P1, P2, D1, D2
- la fréquence de ces analyses. Cette fréquence n'est pas associée à la vulnérabilité de la ressource mais au nombre d'habitants desservis ou à la production de l'usine de traitement

Le préfet peut dans certaines conditions, imposer à la PRPDE d'augmenter ce contrôle sanitaire, à la charge de ce dernier. Cette décision peut résulter par exemple d'une programmation de travaux (source de dégradation possible de la qualité de l'eau) ou du constat d'une dégradation effective de la qualité de l'eau (article R.1321-17).

Le Code de la Santé Publique prévoit dans son article [R.1321-24](#) une réduction possible du programme d'analyses au profit de celles effectuées par le producteur-distributeur d'eau au titre de son auto-surveillance. Cette réduction ne peut concerner que des analyses de paramètres chimiques ou physico-chimiques, et non les paramètres microbiologiques.

Cette réduction est en outre assortie de conditions à respecter :

"Pour les eaux fournies par un service public de distribution, les analyses du programme mentionné à l'article R. 1321-23 peuvent se substituer à celles réalisées en application de l'article R. 1321-15 lorsque les 2 conditions suivantes sont remplies :

1. Un système de gestion de la qualité est mis en place par la PRPDE, comprenant notamment :
  - a. L'analyse et la maîtrise des dangers du système de production ou de distribution d'eau, régulièrement mises à jour
  - b. La mise en œuvre de vérifications et de suivis efficaces au niveau des points à maîtriser dans le système de production ou de distribution d'eau
  - c. La formation et l'information des agents intervenant dans cette démarche
2. Les prélèvements et les analyses de surveillance sont réalisés par un laboratoire répondant à des exigences définies par arrêté du ministre chargé de la santé. Ces prélèvements et analyses sont effectués par un laboratoire situé dans l'usine de traitement d'eau ou à défaut par un laboratoire soit agréé soit accrédité. Un arrêté publié le 7 août 2017 complète cet article en précisant sous quelles conditions un élément peut être exclu des contrôles\*.

<sup>12</sup> Les arrêtés du 11 janvier 2007 modifiés relatifs aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine d'une part ; et au programme de prélèvements et d'analyses de contrôle sanitaire pour les eaux fournies par un réseau de distribution et précisent la liste des paramètres à suivre lors des contrôles de la qualité de l'eau, d'autre part.

\* Cet arrêté introduit également, comme condition à respecter pour bénéficier d'un allègement de contrôle, le PGSSE.

## L'auto-surveillance

L'auto-surveillance est abordée dans l'article [R.1321-23](#) du CSP. Aucun programme d'analyses n'est spécifié, "la personne responsable de la production ou de la distribution de l'eau est tenue de surveiller en permanence la qualité des eaux destinées à la consommation humaine."

Normalement la fréquence des analyses d'auto surveillance doit être adaptée à la vulnérabilité de la ressource (identification et fréquence d'occurrence des dangers) et des étapes de traitement : en distinguant les étapes passives, les étapes actives et en considérant les risques d'erreur humaine ou de dysfonctionnement.

Le code précise que cette surveillance comprend :

- une vérification régulière des mesures prises par la personne responsable de la production ou de la distribution d'eau pour la protection de la ressource utilisée et du fonctionnement des installations
- un programme de tests et d'analyses effectués sur des points déterminés en fonction des dangers identifiés que peuvent présenter les installations
- la tenue d'un fichier sanitaire recueillant l'ensemble des informations collectées à ce titre

La définition du programme d'auto-surveillance (paramètres mesurés, fréquences d'analyses) est donc de la responsabilité du producteur-distributeur d'eau, qui doit le communiquer à l'autorité sanitaire. Si celle-ci le juge insuffisant ou inadapté, elle peut imposer, en compensation, à la PRDE d'augmenter le contrôle sanitaire, à la charge de ce dernier (articles R. 1321-16 et R. 1321-25)

## 6. Obligations concernant la gestion des non-conformités

La directive eau potable (Directive 98/83/CE) de 1998 s'est distinguée de la directive de 1980, sur trois points :

- la qualité de l'eau se mesure au robinet normalement utilisé par les consommateurs
- l'usage de l'eau potable n'est plus restreint à la boisson et la préparation des aliments, mais concerne les autres usages domestiques dont la toilette corporelle
- en cas de non-conformité de la qualité de l'eau, l'État membre peut accorder des dérogations au respect de la qualité de l'eau à condition qu'il n'y ait aucun risque inacceptable pour la population et à l'exclusion du risque microbiologique. Les périodes de dérogations sont très encadrées

Le tableau **8**. ci-après récapitule ces obligations.

RESSOURCE	TRAITEMENT	DISTRIBUTION PUBLIQUE	DISTRIBUTION PRIVÉE
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eaux non-conformes : dérogations <b>R.1321-9, R.1321-40, R.1321-41, R.1321-42</b> (autorisation exceptionnelle)</li> <li>- Augmentation de la fréquence de contrôle <b>R.1321-16, R.1321-17</b></li> <li>- Plan de gestion de la ressource ayant pour but de réduire la non-conformité <b>R.1321-42</b></li> <li>- Cas où le préfet peut donner une dérogation <b>R.1321-42</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Obligation de mettre en place le plus rapidement les mesures correctives <b>R.1321-26, R.1321-27, R.1321-28, R.1321-29</b></li> <li>- Le préfet peut augmenter la fréquence des contrôles <b>R.1321-16, R.1321-17</b></li> <li>- Le préfet peut imposer des mesures correctives <b>R.1321-28, R.1321-29</b></li> <li>- Dérogations données par le préfet, l'état, l'UE <b>R.1321-8, R.1321-26 à 36</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Obligations de l'exploitant en cas de non-conformité de l'eau distribuée <b>R.1321-26, R.1321-27, R.1321-28</b></li> <li>- Le préfet peut augmenter la fréquence des contrôles <b>R.1321-16, R.1321-17</b></li> <li>- Le préfet impose des mesures correctives <b>R.1321-28, R.1321-29</b></li> <li>- Le préfet en cas de risque peut réduire ou interdire la consommation de l'eau <b>L.1321-4, R.1321-29</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le préfet s'assure que les consommateurs sont informés <b>R.1321-36, R.1321-47</b></li> <li>- Canalisations d'eau utilisées comme terre : information obligatoire des habitants de l'immeuble <b>R.1321-59</b></li> <li>- Le préfet s'assure que les propriétaires sont informés des mesures à prendre <b>R.1321-47</b></li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Restriction de l'utilisation de l'eau pour des usages spécifiques <b>R.1321-9, R.1321-47</b></li> <li>- Demande de prolongation de dérogation en cas de crise</li> </ul>	
--	--	---	--

## 7. Obligations d'information

Les textes en vigueur encadrent les informations qui doivent être délivrées tant aux consommateurs qu'à l'autorité sanitaire. L'information au consommateur devra impérativement concerner l'eau de l'UDI, c'est-à-dire l'eau qu'il reçoit effectivement au robinet.



### → ATTENTION

Si l'exploitant communique sur ses résultats d'analyses d'auto-surveillance, en aucun cas le consommateur ne devra être en mesure de confondre cette information avec celle donnée officiellement par l'autorité sanitaire.

Le tableau 9. ci-après précise ces obligations.

DESTINATAIRE	TRAITEMENT	RÉSEAU PUBLIC	RÉSEAU PRIVÉ
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Information dans le cadre des DUP <b>L.1321-2, L.1321-2-1, L.1321-3</b></li> <li>- L'exploitant tient à la disposition du préfet les résultats de son auto-surveillance <b>R.1321-25</b></li> <li>- Informations dans le cadre de dérogations à la qualité des eaux brutes <b>R.1321-42</b></li> <li>- Informations à donner pour chaque période de dérogation <b>R.1321-35, R.1321-36</b></li> <li>- Tenue d'un carnet sanitaire <b>R.1321-23</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- L'exploitant tient à la disposition du préfet les résultats de son auto-surveillance <b>R.1321-25</b></li> <li>- Pour la non conformité : obligation d'information du préfet <b>R.1321-26, R.1321-29, R.1321-30, R.1321-32, R.1321-35, R.1321-36</b></li> <li>- Information des consommateurs en cas de non-conformité <b>R.1321-30, R.1321-36</b></li> <li>- Informations à donner pour chaque période de dérogation <b>R.1321-35</b></li> <li>- Potentiel de corrosivité de l'eau vis-à-vis du plomb <b>R.1321-49</b></li> <li>- Tenue d'un carnet sanitaire <b>R.1321-23</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- L'exploitant tient à la disposition du préfet les résultats de son auto-surveillance <b>R.1321-25</b></li> <li>- Pour les non conformités : d'information du préfet <b>R.1321-26, R.1321-29, R.1321-30, R.1321-35, R.1321-36</b></li> <li>- Information des consommateurs en cas de non-conformité <b>R.1321-30, R.1321-36</b></li> <li>- Informations à donner pour chaque période de dérogation <b>R.1321-35</b></li> <li>- Information du préfet et des consommateurs en cas de non-conformité imputable au réseau de distribution <b>R.1321-47</b></li> <li>- Tenue d'un carnet sanitaire <b>R.1321-23</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Voire réseau public</b></li> <li>- Décret du 24/09/1994 : les résultats d'analyses du contrôle officiel doivent être affichés en mairie <b>L.1321-9, D.1321-104</b></li> <li>- Une synthèse annuelle est envoyée avec la facture d'eau <b>D.1321-104</b></li> <li>- Si le producteur d'eau fait une synthèse de ces résultats d'auto-surveillance il ne doit pas pouvoir y avoir de confusion avec celle des analyses de contrôle <b>D.1321-105</b></li> <li>- En cas de non conformité de la qualité de l'eau due aux installations privatives, Le préfet s'assure que les propriétaires sont informés des mesures à prendre <b>R.1321-47</b></li> </ul>



## IV. Plan de gestion pour la sécurité sanitaire des eaux destinées à la consommation humaine (PGSSE ou Water Safety Plan/ WSP)

Dès les années 1880, Louis Pasteur alertait sur le fait que 80% des maladies avaient pour origine la boisson, notamment l'eau. En 2004, selon l'OMS, 88% des maladies diarrhéiques ont pour origine :

- une mauvaise qualité de l'eau consommée (pour 39% des cas)
- l'assainissement des eaux usées (pour 32% des cas)
- une mauvaise hygiène dans 45% des cas, notamment un lavage des mains insuffisant

Il est donc devenu indispensable de disposer d'équipements et de services qui permettent de garantir en permanence :

- une eau de qualité compatible à la consommation humaine
- un assainissement adapté
- une quantité d'eau de qualité permettant de répondre à l'ensemble des besoins : la boisson, la préparation des aliments et l'hygiène corporelle

L'approche traditionnelle bâtie sur les principes actions curatives/réactives est considérée comme insuffisante et comme devant être remplacée par une nouvelle approche basée sur une approche préventive/ proactive. Comme déjà mentionné, l'eau destinée à la consommation humaine se distingue des autres aliments sur plusieurs points :

- les consommateurs et les usages sont très variés : la boisson, la préparation des aliments, la toilette corporelle, l'industrie alimentaire, les métiers de bouche : restauration, boulangerie, etc.
- c'est un processus en continu
- les délais de mise à disposition de l'eau sont très courts, dans certains cas, l'eau peut être consommée quelques dizaines de minutes après avoir quitté l'usine de production
- il y a impossibilité de pouvoir rappeler les lots comme le fait l'industrie alimentaire
- les analyses de contrôle de la qualité de l'eau ne sont pas exhaustives, certains paramètres ne sont pas ou ne peuvent pas être recherchés
- les alertes sont tardives, les tests et normes d'analyses pertinents n'existent que pour un nombre restreint de paramètres
- les résultats des contrôles sont toujours obtenus bien après que l'eau ait été consommée

L'OMS a donc proposé une approche préventive en 2004 en inscrivant [les principes du PGSSE](#) au chapitre IV de la troisième édition de la directive pour la qualité de l'eau de boisson. Le principe est qu'une analyse des faiblesses (ou sources de danger, notamment vis-à-vis du risque de contamination biologique), du système constitué par la production, le traitement et la distribution de l'eau, doit permettre d'élaborer des actions correctives afin de limiter, à terme, le risque d'occurrence d'une non-conformité de l'eau.

→ Le processus est progressif et itératif, il nécessite **une inspection et une connaissance précise des installations, de leurs composants, de leur fonctionnement, de leurs réglages, de leur environnement** pour identifier, élément par élément, leur faiblesse et les actions correctives qui pourraient être mises en œuvre pour y pallier.

Ces faiblesses ou sources de danger n'ont toutefois pas toutes la même probabilité d'occurrence et ne présentent pas toutes les mêmes degrés de gravité (mesurés au regard de leurs effets sur la santé des consommateurs). De ce fait, chaque faiblesse est associée à un risque permettant une priorisation et une programmation finalisées au regard de son coût, de ses conditions de mise en œuvre et du caractère d'urgence qu'elle peut parfois présenter.

→ La démarche s'inscrit dans un principe d'amélioration continue de la performance mesurée par la maîtrise de la qualité de l'eau distribuée, mettant (ou remettant) ainsi la santé publique au cœur des priorités du service.

### Pourquoi adopter des principes de prévention ?

- l'analyse au point de consommation de l'eau, qui n'est réalisée que quelques jours/an et trop tardivement au regard de la consommation effective de l'eau, ne permet pas de réagir au plus près de la date de survenue de la non-conformité
- ainsi, s'appuyer, en termes de contrôle, sur les seules analyses réalisées au point de consommation signifie que la PRPDE admette que les consommateurs aient déjà bu l'eau dont les résultats d'analyse lui sont communiqués
- les normes (limites et références de qualité) impliquent une gestion et un degré sanitaires **a minima** pour garantir la qualité de l'eau
- une transmission a posteriori de l'information relative à la qualité de l'eau au consommateur n'est pas conforme aux principes qui ont guidé l'établissement des valeurs limites et références de qualité de l'eau. *Le risque ne peut être choisi que si le consommateur est bien informé, sinon c'est un risque subi ou imposé.*
- la PRPDE doit connaître tous les consommateurs à risque afin de les informer spécifiquement et prioritairement en cas de problème de qualité de l'eau (hôpitaux, médecins, dialysés à domicile, etc)

Les principaux avantages d'une approche préventive sont :

- prévenir sans attendre que la contamination survienne pour agir
- l'approche multi-barrières : si une barrière est défectueuse, la suivante prend le relai
- La mise en place d'une organisation pour le management de la qualité afin de garantir à tout moment la qualité de l'eau
- Identifier toutes les améliorations permettant la garantie de la qualité de l'eau

→ Pour les stations de traitement d'eaux de surface alimentant plus de 100000 habitants, dans le passé le CSHPF<sup>13</sup> préconisait d'adopter deux barrières de désinfection redondantes, par exemple : une ozonation désinfectante et un traitement final au chlore ou au dioxyde de chlore, ou une double désinfection UV / chlore ou bioxyde de chlore.

La juxtaposition d'une clarification permettant une turbidité < 0,5 NFU et d'une désinfection pour un CT<sup>14</sup> donné, répond au principe de systèmes multi-barrières.

## 1. Identification des dangers directs ou indirects

La première étape de la démarche des PGSSE est donc, conformément à l'article L1321-4 du code de la santé publique, l'identification des dangers à toutes les étapes du processus de production et de la distribution de l'eau (en tenant compte du fait que chaque système de production/ distribution d'eau est un cas particulier).

→ Indépendamment de leur mode de gestion, il est essentiel que les collectivités compétentes en production et/ou distribution d'eau potable prennent la mesure et assurent elles même l'élaboration puis le suivi du plan de gestion de la sécurité sanitaire de l'eau de leurs installations.

<sup>13</sup> CSHSP Conseil Supérieur d'hygiène Publique de France.

<sup>14</sup> Concentration en biocide chimique résiduel après un temps de contact réel donné.

- Si leur exploitant (prestataire/délégataire/concessionnaire..) peut très largement y contribuer, la collectivité doit maîtriser l'ensemble des éléments pris en compte dans le plan, notamment les dangers, leur probabilité d'occurrence et les améliorations qui permettent d'y répondre (tant dans leur définition que leur priorisation). Le plan de gestion de la sécurité sanitaire de l'eau constitue un engagement à part entière résultant d'une prise de conscience et se traduisant par un plan d'actions progressif, pluriannuel et cyclique.

Il existe des documents guide pour l'identification de ces dangers. Les dangers sont analysés sur l'ensemble de la chaîne (du point de prélèvement à la distribution). Ils se composent d'éléments évidents (le verrouillage des locaux, la connaissance des personnes en possession des clés) comme de sources de contamination plus spécifiques (l'accident d'hélicoptère en secteur montagneux où sont situés les points de captage).

- Dans le contexte actuel de mutation des services d'eau (d'ici 2020), l'élaboration d'un PGSSE et notamment l'analyse des sources de dangers de l'ensemble de la chaîne prélèvement/production/traitement/stockage/distribution, constituent un très bon moyen de prendre connaissance (ou de parfaire la connaissance) du système, de son mode de fonctionnement, de son état et des besoins.

Cette prise en main du système par la collectivité lui permet en outre d'affirmer son rôle d'autorité organisatrice, c'est-à-dire de fixer les objectifs du service, qu'il soit exécuté en régie ou par un tiers.

Les dangers identifiés sont alors hiérarchisés en fonction :

- de leur gravité
- de la fréquence d'occurrence
- de la détectabilité
- de la maîtrise par une étape de traitement

## 2. Réduction des risques

Le risque est la probabilité d'être en présence d'un danger multiplié par la gravité du danger.

Cette approche permet donc de hiérarchiser les moyens à mettre en œuvre pour réduire les risques. Cela peut se traduire par :

- des systèmes de prévention : les périmètres de protection, les normes qualifiant la pureté des réactifs chimiques utilisés, les matériaux au contact de l'eau, des objectifs de qualité de l'eau conditionnant le choix de certaines étapes de traitement (par exemple : turbidité de l'eau brute pour le choix d'étapes de clarification, turbidité de l'eau filtrée pour la désinfection de l'eau, teneur en COT avant les traitements de désinfection chimique, etc..)
- des systèmes curatifs adaptés aux dangers identifiés

### a. Des systèmes préventifs

Le code de la santé prévoit la mise en œuvre de systèmes préventifs :

- Des obligations administratives : obligation de définition des périmètres de protection, obligation d'agrément des nouvelles filières ou des modifications de filières de traitement des eaux, réactifs, matériaux au contact de l'eau et étapes de traitement conformes aux dispositions réglementaires
- Des obligations de moyens : le code de la santé ne précise pas de moyens spécifiques mais impose la mise en place de moyens définis par la PRPDE mais adaptés à la maîtrise la qualité de l'eau. Ces moyens se composent de diverses étapes critiques permettant, "au fil de l'eau", d'en garantir la qualité

## b. Des systèmes passifs par opposition aux systèmes actifs

La garantie de qualité de l'eau est assurée par la mise en place d'étapes de traitement et de contrôle de la bonne exécution du traitement, ces étapes pouvant se différencier en :

- des étapes passives
- des étapes actives

→ Un système passif répond à une fonction (injection/homogénéisation au sein du système ou d'une filière) sans ajouter de nouvelles sources de dangers. Son efficacité sera conditionnée par son dimensionnement au regard du besoin auquel il doit répondre.

En revanche, un système actif ajoute de nouvelles sources de dangers au système. Dès lors, dans tout choix technique, lorsque un système actif est étudié, les dispositifs supplémentaires à acquérir, en complément du système pour garantir la sécurisation des installations, entre dans les critères de choix au même titre que les conditions d'exploitation ou les économies générées par ces systèmes (généralement présentés comme performants ou issus des dernières innovations technologiques).

La comparaison entre systèmes passifs et actifs doit notamment porter sur les points critiques des installations, par exemple l'injection d'un réactif dont la dose est asservie à la qualité de l'eau à traiter. La technologie adoptée doit considérer les risques de pannes, les conditions d'approvisionnement des pièces, l'offre sur le marché de systèmes équivalents et interopérables, la maintenance (curative, préventive) nécessaire, les compétences requises et les coûts générés par la sécurisation du système actif (par redondance par exemple).

Dans les DOM ou TOM, compte tenu des délais d'approvisionnement en pièces de rechange, les systèmes passifs seront à privilégier (par exemple des flocculateurs à chicanes, etc.)

## c. Une organisation Qualité : ISO 9001, HACCP, AMDEC

Il n'existe pas un système de management de la qualité directement applicable à l'eau destinée à la consommation humaine. Mais les services peuvent s'inspirer de deux systèmes existants, notamment dans la perspective d'élaborer un PGSSE :

- l'HACCP<sup>15</sup> : Analyse des dangers et maîtrise des points critiques
- l'AMDEC : Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité

L'HACCP a d'abord été conçue par l'industrie alimentaire puis utilisée par la NASA lors de l'envoi de personnes dans l'espace. Elle est basée sur l'identification des dangers et la mise en place d'étapes permettant de les maîtriser ; leur programmation est échelonnée en fonction de leur gravité.

L'AMDEC a été conçue, à l'origine, par l'industrie pour la production industrielle. Elle est basée sur :

- l'analyse et la maîtrise des défaillances d'un système ou d'un processus

Une caractérisation des défaillances par un score (seuil de criticité) basé sur la fréquence (F), la gravité (G) et la détectabilité (D) pour chaque danger ( $C = F \times G \times D$ ).

---

<sup>15</sup> Hazard Analysis Critical Control Point.



Tableau 10. présentant quelques éléments théoriques sur les méthodes d'analyse et de maîtrise des dangers appliquées au domaine de l'EDCH

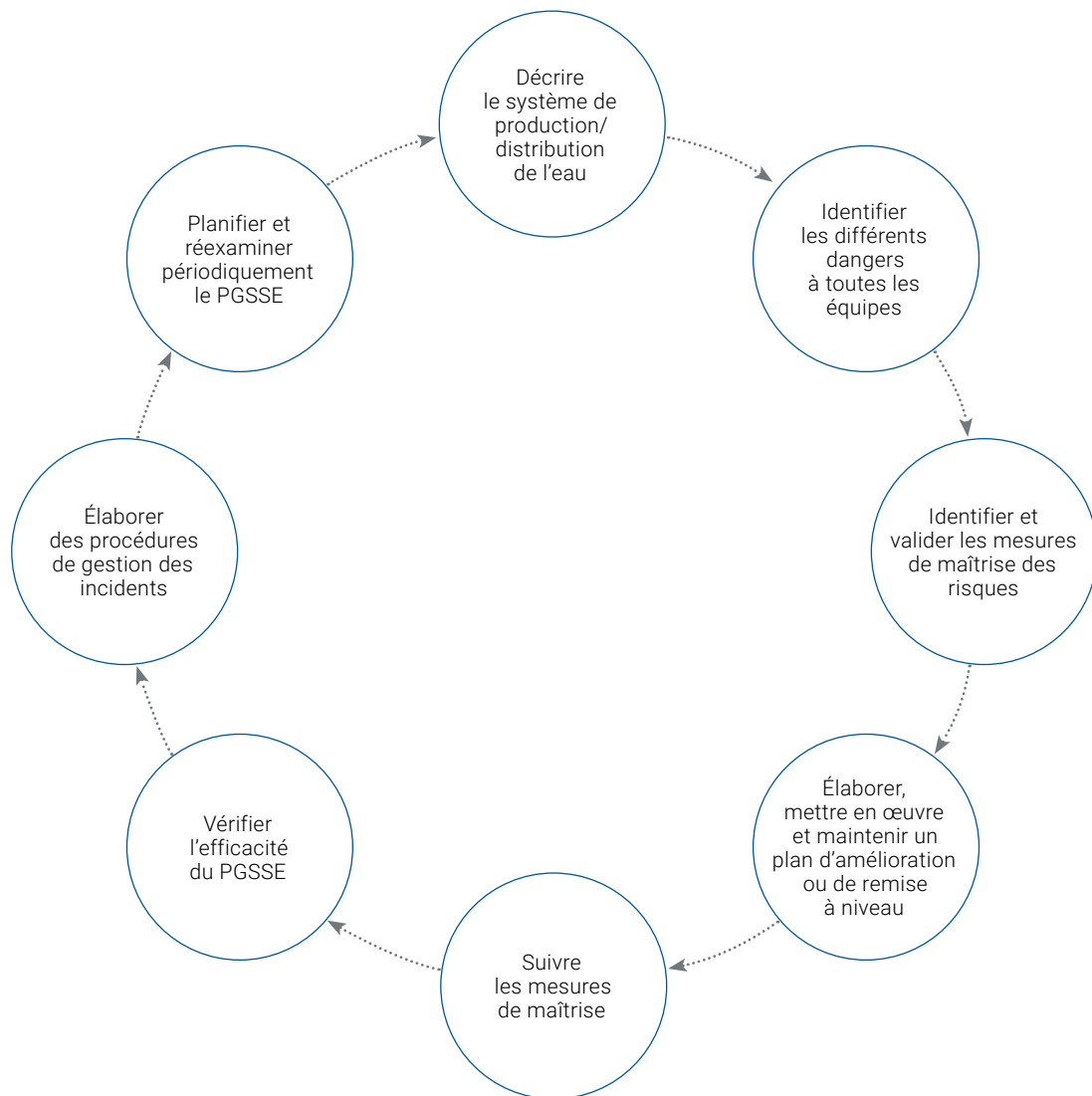
HACCP	AMDEC
<p>Au préalable :</p> <p>Constituer une équipe Définir le champ de l'étude Décrire le produit, les usages, les utilisateurs Faire le diagramme de production Valider le diagramme sur site</p>	<p>Au préalable :</p> <p>Constituer une équipe Définir le champ de l'étude Décomposer le processus de production et la collecte des données des descriptives de la situation</p>
1. Identifier les dangers, déterminer les causes et les mesures de maîtrise associées à chaque danger	1. Rechercher et analyser les défauts potentiels
2. Déterminer les points critiques pour la maîtrise (CCP)  Pour chaque danger ou groupe de dangers, on applique l'arbre de décision	2. Évaluer les risques des défauts en déterminant leur criticité  $Criticité = Gravité \times Possibilité \text{ de détection} \times Fréquence$
3. Établir les limites critiques pour chaque CCP	3. Rechercher les mesures correctives et/ou préventives si le niveau de criticité est supérieur au seuil préétabli
4. Établir un système de surveillance pour chaque CCP	4. Réduire la criticité après application des mesures et si nécessaire poursuivre la recherche de mesures adaptées
5. Établir les actions correctives	5. Planifier et mettre en œuvre les mesures
6. Établir les procédures de vérification du système HACCP	6. Valider le dispositif
7. Établir la documentation et l'archivage	

### 3. Quelles nouveautés ?

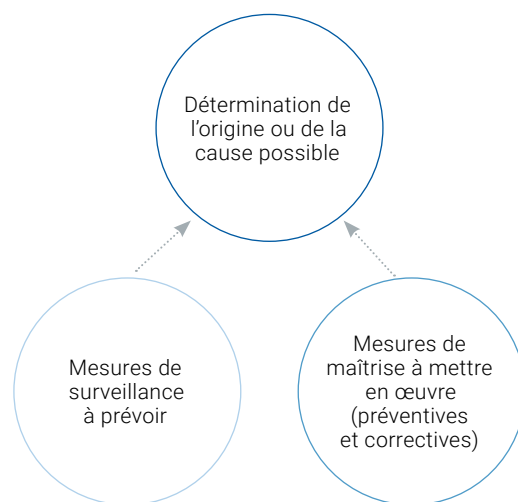
Dans le même esprit que les systèmes qualité, le code de la santé intégrait, bien avant la directive de l'OMS, une démarche qualité (très proche du PGSSE) mais sans la nommer.

Les principes étaient donc déjà connus et mis en œuvre dans certains services d'eau. L'approche PGSSE, telle qu'elle est décrite dans les publications OMS (Water Safety Plan : WSP) ou dans la norme internationale EN 15975-2, ajoute toutefois une approche dynamique, une organisation et un principe d'amélioration continue.

Pour initier un tel plan, la collectivité ne peut s'affranchir d'adopter une organisation adaptée. Il faut notamment une équipe PGSSE constituée de représentants de toute la chaîne de prélèvement/production/traitement/stockage/distribution de l'eau pour :



- décrire le système de production/distribution de l'eau (caractéristiques techniques, type de traitement,...) et réservoirs, des interconnexions du réseau,...
- les documents réglementaires
- identifier les différents dangers à toutes les étapes
- identifier et valider les mesures de maîtrise des risques
- élaborer, mettre en œuvre et maintenir un plan d'amélioration ou de remise à niveau
- suivre les mesures de maîtrise
- vérifier l'efficacité du PGSSE
- élaborer des procédures de gestion des incidents
- planifier et réexaminer périodiquement le PGSSE



Ce plan est applicable à tout type d'installation, petits ou grands systèmes de production/ distribution d'eau, dans tous les pays.

Le but est d'obtenir un très haut niveau de :

- prévention
- correction
- précaution
- information

Les actions correctives ou préventives peuvent prendre plusieurs formes :

- des dispositions réglementaires à mettre en œuvre (par exemple l'instruction de la DUP de captage, la régularisation d'une autorisation administrative d'une chaîne de traitement dont les composantes auraient évolué, la modification selon un programme plus adapté des suivis réglementaires de la qualité de l'eau...)
- des dispositions de gestion patrimoniale qui concourent à la qualité des eaux, lesquelles peuvent se traduire par des actions de court et plus long termes au regard de la criticité des dangers décelés
- la mise en place de barrières sanitaires : redondance de processus, procédures de contrôle, équipements
- la précocité de détection d'une anomalie : par exemple en assurant un suivi du fonctionnement par des capteurs, adopter un mode de maintenance adapté
- la rapidité de réaction : le mode de transmission des informations, le contrôle de la validité des informations, la mise en œuvre de procédures écrites, etc.
- l'efficacité de la réaction : le personnel doit savoir quand agir, pourquoi agir et comment agir



→ **ATTENTION**

Tout résultat donné par un capteur doit être interprétable et conduire à une action. Le résultat d'un capteur (d'une analyse) est **un outil pour une prise de décision**, ce n'est pas une fin en soi.

- la transparence dans les pratiques et notamment la traçabilité dont un élément majeur est la tenue **d'un carnet sanitaire**
- l'information de l'autorité sanitaire et des consommateurs, notamment les consommateurs identifiés comme sensibles

Les éléments nécessaires à la mise en œuvre d'un PGSSE se résument à trois mots clés, lesquels s'appliquent tant aux services d'eau et à leurs exploitants qu'aux autorités sanitaires.

- **l'appropriation du concept**, c'est-à-dire comprendre l'intérêt du PGSSE, il ne s'agit pas tant d'une contrainte supplémentaire que d'un outil de prise en main du service d'eau
- **le diagnostic des installations et de la surveillance**, dénommé "Étude de dangers", qui consiste en une analyse voire une remise en question de la fiabilité des installations ou leur surveillance dès lors qu'elles présentent un risque pour la sécurité sanitaire.

Il y a donc lieu de s'interroger sur l'intérêt de sous-traiter l'étude, et si tel est le cas, de s'assurer de la compétence du bureau d'étude. La qualité du diagnostic conditionne la pérennité et l'efficacité du PGSSE. Il est nécessaire que l'autorité organisatrice prenne pleinement conscience des enjeux de sécurité que présentent les installations de prélèvement/production/traitement/stockage et distribution de l'eau. Le diagnostic des installations et de la surveillance constitue un processus de long terme, relativement lourd, autour duquel il faut mobiliser tant les services que les élus.

- la restitution d'un PGSSE notamment le **programme d'actions** chiffré spécifique à chaque PRPDE répondant aux spécificités des installations techniques du service

→ Les premières expérimentations permettent de souligner la valeur ajoutée de la démarche perçue par les collectivités, notamment :

- une prise de conscience de la responsabilité de la PRPDE vis-à-vis de l'utilisateur
- un gain en professionnalisation des équipes : le PGSSE étant vu comme un moyen de changer et d'approfondir les modalités usuelles d'exploitation (en adoptant plus de traçabilité au sein du système)
- une opportunité de construire un réel partenariat avec l'ARS
- une optimisation des coûts de renouvellement pour atteindre les objectifs à budget constant (par exemple en intensifiant les réalisations en régie, en développant des techniques de réhabilitation)

Mais :

- il s'agit d'un processus itératif qui nécessite de s'approprier les outils
- le PGSSE nécessite d'introduire une gestion des données dématérialisée, centralisée (guichet unique) et uniformisée, notamment les informations transmises aux ARS. Si la collectivité est invitée durant la démarche à exploiter l'ensemble des informations collectées dans le diagnostic et les modalités de surveillance qui en résulteront, il reste des interrogations quant à l'usage même de telles bases de données à l'échelle régionale (par les ARS par exemple), au regard du nombre d'informations et du nombre de systèmes
- le dispositif peut s'avérer plus lourd en milieu rural compte tenu des linéaires de réseau importants et de la faible densité d'abonnés. Son intérêt n'est toutefois pas remis en cause.
- le PGSSE constitue une réelle valeur ajoutée pour le service, mais est peu perceptible pour l'utilisateur, bien que celui-ci bénéficie d'une eau dont la qualité est bien mieux maîtrisée.

## V. Protection des ressources

Les ressources utilisables pour la production d'eaux destinées à la consommation humaine peuvent avoir plusieurs origines.

### **Eaux douces :**

- eaux souterraines profondes
- eaux de nappes phréatiques (peu profondes)
- eaux alluviales
- eaux influencées par des eaux de surface
- eaux de surface : lacs ou réservoirs, rivières, fleuves ou canaux.

### **Eaux salées :**

L'eau de mer peut, dans certains cas, après dessalement, être utilisée pour la production d'eau destinée à la consommation humaine notamment dans les îles ou dans des zones littorales où l'eau douce est en quantité trop faible.

### **1. Eaux souterraines profondes**

Les eaux profondes sont dans la plupart des cas protégées par des couches géologiques imperméables situées au-dessus, et éventuellement par d'autres nappes moins profondes.

Ces nappes disposent d'une réalimentation pluriannuelle, et sont donc généralement peu sensibles à une sécheresse annuelle. Elles sont normalement bien protégées vis-à-vis des pollutions, mais si un polluant les atteint, leur décontamination est longue voire très longue. Les phénomènes de rétention sur les matières organiques du sol et de biodégradation n'apparaissent que dans les premiers mètres de sol. La dégradation d'un polluant organique ne se fait, ensuite, que par hydrolyse.

Compte tenu du contact prolongé de ces eaux à faible teneur en oxygène avec la roche réservoir, celles-ci sont très réductrices et peuvent donc contenir du fer, du manganèse rendus solubles voire tous les micropolluants minéraux susceptibles de les accompagner comme l'arsenic, le sélénium, l'antimoine...

- si l'eau contient du fer ferreux, elle ne contiendra pas d'ions nitrates ou sulfates, car ils auront été réduits en ions ammonium (ions nitrates), en azote gazeux (ions nitrates), ou en sulfures (ions sulfates)
- si la roche réservoir est formée de carbonate de calcium, les eaux peuvent être dures (bicarbonatées calciques)
- si elle est constituée de sulfate de calcium (Gypse), les eaux seront dures, séléniteuses (sulfatées calciques)
- si elle est constituée de terrains granitiques, la minéralisation reste très faible mais les teneurs en silice peuvent être importantes (la silice étant un inhibiteur de l'oxydation par voie chimique du fer et du manganèse)

Les périmètres de protection permettant d'éviter les pollutions ponctuelles de ces nappes profondes seront assez limités en superficie, cependant la pollution diffuse ne pourra être maîtrisée que par la réglementation générale, notamment le classement en zones vulnérables, le cas échéant, mais cela peut s'avérer insuffisant.

### **2. Eaux de nappes phréatiques**

Elles correspondent aux premières nappes rencontrées lorsque l'on creuse un puits ou un forage. La profondeur des ouvrages varie de 5 à 20 mètres et sont donc très influencées par les activités en surface. Les périmètres de protection seront donc plus étendus.

Ces eaux contiennent normalement de l'oxygène dissous. Il n'y aura donc pas de fer ou de manganèse dissous, en revanche il sera probable d'y retrouver des ions nitrates.

Ces nappes sont à réalimentation annuelle et sont donc très influencées par des épisodes de sécheresse, avec des conséquences sur les débits de pompage.

### 3. Eaux alluviales

Ces nappes se caractérisent par plusieurs particularités :

- la roche réservoir est constituée de matériaux granulaires hétérogènes en taille et constitution (alluvions de rivières). Il peut aussi se trouver, parmi les minéraux, des poches de matières organiques (vases) qui donnent un caractère réducteur à l'eau
- elles présentent une double alimentation : le coteau en période de hautes eaux (période pluvieuse) et la rivière en période de basses eaux (période sèche). En période de hautes eaux il s'agit de nappes phréatiques, en période de basses eaux, il s'agit de la filtration de l'eau de rivière via les berges (filtration sur berge)
- leur intérêt réside dans l'alimentation par l'eau de la rivière, qui permet de fournir des débits importants même en période sèche

Les périmètres de protection devront donc prendre en compte les dangers identifiés pour ces deux types d'alimentation (coteau et rivière).

En outre, dans la mesure où ces eaux peuvent être réductrices, elles sont susceptibles de contenir du fer et/ou du manganèse avec les micropolluants qui peuvent les accompagner. On pourra y retrouver des ions ammonium, nitrites et sulfures, dont la présence interdira toutefois celle des ions nitrate.

Néanmoins dans certaines eaux alluviales, l'absence de poches de matières organiques permet le maintien d'une teneur en oxygène dissous, avec alors un risque d'y détecter des ions nitrate.

### 4. Eaux influencées par des eaux de surface

Ce sont des eaux souterraines qui, à une période de l'année (saison des pluies), peuvent être réalimentées par les eaux de ruissellement via des failles, des gouffres, avens, dolines sans filtration efficace par le sol. L'arrêté du 11 janvier 2007 les définit comme : "Les eaux d'origine souterraine provenant de milieux fissurés présentant une turbidité périodique importante et supérieure à 2,0 NFU"

On les trouve en terrains calcaires ou crayeux (terrains karstiques), fissurés granitiques ou volcaniques.

Lors de l'étude précédant l'établissement des périmètres de protection, il est important de bien identifier ces zones d'infiltration rapide. La réglementation en vigueur prévoit la possibilité de définir des périmètres de protection complémentaires (dits satellites) permettant de protéger ces zones. Ces périmètres peuvent être très étendus et leur dimensionnement dépend très souvent des moyens de traitement mis en place.

Comme bien souvent il s'agit de véritables rivières souterraines, les quantités d'eau disponibles peuvent être très importantes, ce qui explique qu'elles sont fréquemment utilisées pour l'alimentation de grandes agglomérations. Les vitesses de circulation des eaux varient de 10 à plusieurs centaines de mètres par jour. En cas de pollution leur décontamination sera donc bien plus rapide que celle des eaux souterraines, mais plus lente que celle des eaux de surface.

Ces eaux sont assimilables à des eaux de surface et doivent donc être traitées comme telles notamment parce qu'elles contiennent des pathogènes bactériens, parasitaires ou viraux. Si la turbidité diminue, de manière naturelle ou non jusqu'à devenir inférieure à 0,5 NFU, le risque microbiologique persiste toujours dans de telles eaux : elles doivent donc être traitées en permanence.

→ Pour des eaux influencées par des eaux de surface, la mise en place des traitements est indispensable quelle que soit la turbidité.

## 5. Eaux de surface : rivières ou canaux

Par définition, les eaux de surface sont contaminées et doivent impérativement subir (a minima) un traitement de clarification et une étape de désinfection.

→ **NB** : Dans ce cas, il s'agit d'un traitement de clarification, et non de filtration. Il est important de distinguer la filtration (qui n'a pas d'effet sur les colloïdes) de la clarification (dont le but est de les retirer de l'eau). La filtration consiste à faire circuler l'eau sur un média filtrant (sable) sans ajout de réactifs, permettant ainsi l'élimination des matières en suspension et une partie des colloïdes; la clarification quant à elle, après l'ajout d'un réactif retient les matières en suspension et les colloïdes (après avoir neutralisé leurs charges négatives).

Ces eaux de rivières ou de canaux ont un débit plus ou moins important, qui peut influencer (par dilution) la concentration des polluants qui y sont présents.

Le cas des canaux est plus simple car, hormis quelques exceptions, les rejets d'eaux usées (traitées) sont moins systématiques qu'en rivière. Cependant il peut y avoir déversements d'eaux de ruissellement.

Pour les eaux de surface, la définition du périmètre de protection éloignée n'est pas systématique. En revanche, la définition des périmètres de protection rapprochée est une obligation réglementaire. Il correspond à une zone où les rejets sont interdits. Cette zone est délimitée en fonction du temps nécessaire à l'exploitant pour réagir sur l'usine de traitement en cas de pollution (mise en œuvre de traitements de crise, ralentissement de la production, arrêt de la production avec recherche d'une solution alternative).

→ Par exemple si l'exploitant a besoin de deux heures pour réagir et que la rivière à une vitesse de 1Km/heure alors il faudra prévoir un périmètre de protection rapprochée remontant jusqu'à 2 Km en amont.

Le périmètre de protection immédiate doit prendre en compte la prise d'eau, la zone de transfert si l'eau s'écoule à ciel ouvert et bien sûr la totalité de l'usine ainsi que les réservoirs le cas échéant.

Contrairement aux eaux souterraines, une pollution accidentelle ne durera pas plus d'un jour ou deux. L'étude des dangers devra répertorier tous les sites potentiellement polluants en amont et tous les rejets ainsi que les routes, ponts routiers ou voies de chemin de fer.

## 6. Eaux de surfaces : lacs et barrages réservoirs

Ces eaux sont des eaux "stagnantes", il peut s'y développer des phénomènes de stratification, avec en surface une zone bien oxygénée et en profondeur, des zones sans oxygène, réductrices, donc généralement riches en fer, manganèse et matières organiques.

Les risques de pollution par des rejets sont limités d'une part par des mesures préventives et d'autre part par l'effet de dilution offert par le volume d'eau de l'ouvrage. Cependant, bien souvent, la réserve d'eau ne couvre qu'une année de consommation. En fin de période sèche, l'eau est pompée en fond du réservoir et présente les problèmes déjà évoqués de fer, manganèse, matières organiques, ions ammonium, nitrites, sulfures.

Ces eaux stagnantes peuvent entraîner des proliférations d'algues. Les cyanobactéries posent les problèmes les plus importants car une fois mortes (par effet de la désinfection), elles libèrent des toxines (endotoxines) : hépatotoxines, dermatotoxines, neurotoxines...

Le caractère stagnant raréfie les MES (matières en suspension) mais favorise les colloïdes et une faible turbidité. Le traitement par flottation de l'eau est dans ce cas plus adapté que la décantation, surtout si les eaux sont sujettes à des proliférations d'algues ou de cyanobactéries.

Les périmètres de protection incluent la prise d'eau et dans bien des cas une grande partie des rives et une zone d'une centaine de mètre (à l'appréciation de l'hydrogéologue agréé) à proximité des rives ainsi qu'une partie des rivières qui les alimentent.

## 7. Eaux de mer

Ne sont concernées que les zones où l'eau douce n'est pas disponible en quantité suffisante, c'est-à-dire essentiellement les îles ou les zones littorales de pays arides. En métropole, une canalisation sous-marine (interconnexion avec d'autres terres) est généralement préférée à une station de dessalement. Cependant celle-ci peut s'avérer plus intéressante dans les DOM ou TOM.

Cette ressource n'étant pas conventionnelle, le dossier d'agrément de la chaîne de traitement doit impérativement faire l'objet d'une saisine de l'ANSES avant d'être autorisée au niveau local (après avis du CODERST<sup>16</sup>).

Le traitement le plus souvent utilisé dans les usines de dessalement est l'osmose inverse, qui nécessite une grande quantité d'énergie électrique. Cela constitue un frein dans les îles notamment aux DOM ou TOM.

Pour ces installations il faut bien sûr, comme pour les eaux douces, protéger les captages mais aussi étudier l'impact des rejets salés sur le milieu (leur concentration saline étant deux fois supérieure à celle de l'eau de mer utilisée) notamment vis-à-vis des coraux, des posidonies... .

## 8. Les périmètres de protection

Une modification importante a eu lieu ces dernières années. Si dans le passé l'hydrogéologue officiel établissait pour la commune, l'intercommunalité ou le syndicat d'eau, l'étude des dangers puis délimitait les périmètres de protection, il n'en est plus de même aujourd'hui. L'étude des dangers relève désormais de la responsabilité de la collectivité compétente, qui généralement la confie à un bureau d'étude. Ce dernier effectue une étude géologique, hydrogéologique et l'identification des dangers. L'étude hydrogéologique est remise à un hydrogéologue agréé, nommé par le préfet, en vue de proposer à ce dernier une délimitation des périmètres de protection ainsi que la définition de prescriptions à imposer sur ces différents périmètres.

Les textes en vigueur encadrent cette obligation, dans la partie législative du code de la santé publique, notamment l'article L. 1321-2 :

- "En vue d'assurer la protection de la qualité des eaux, l'acte portant déclaration d'utilité publique des travaux de prélèvement d'eau destinée à l'alimentation des collectivités humaines mentionné à l'article L. 215-13 du code de l'environnement détermine autour du point de prélèvement un périmètre de protection immédiate dont les terrains sont à acquérir en pleine propriété, un périmètre de protection rapprochée à l'intérieur duquel peuvent être interdits ou réglementés toutes sortes d'installations, travaux, activités, dépôts, ouvrages, aménagement ou occupation des sols et dépôts ci-dessus mentionnés
- Lorsque les conditions hydrologiques et hydrogéologiques permettent d'assurer efficacement la préservation de la qualité de l'eau par des mesures de protection limitées au voisinage immédiat du captage, l'acte portant déclaration d'utilité publique peut n'instaurer qu'un périmètre de protection immédiate
- Lorsque les terrains situés dans un périmètre de protection immédiate appartiennent à une collectivité publique, il peut être dérogé à l'obligation d'acquérir les terrains visés au premier alinéa par l'établissement d'une convention de gestion entre la ou les collectivités publiques propriétaires et l'établissement public de coopération intercommunale ou la collectivité publique responsable du captage..."
- "Les servitudes afférentes aux périmètres de protection ne font pas l'objet d'une publication aux hypothèques..."
- "Des actes déclaratifs d'utilité publique déterminent, dans les mêmes conditions, les périmètres de protection autour des points de prélèvement existants et peuvent déterminer des périmètres de protection autour des ouvrages d'adduction à écoulement libre et des réservoirs enterrés
- Nonobstant toutes les dispositions contraires, les collectivités publiques qui ont acquis des terrains situés à l'intérieur des périmètres de protection rapprochée de prélèvement d'eau destinée à l'alimentation des collectivités humaines peuvent, lors de l'instauration ou du renouvellement des baux ruraux visés au titre 1<sup>er</sup> du livre IV du code rural portant sur ces terrains, prescrire au preneur des modes d'utilisation du sol afin de préserver la qualité de la ressource en eau... "
- "Dans les périmètres de protection rapprochée de prélèvement d'eau destinée à l'alimentation des collectivités humaines, les communes ou les établissements publics de coopération intercommunale compétents peuvent instaurer le droit de préemption urbain..."

---

<sup>16</sup> Conseil départemental de l'environnement et des risques sanitaires et technologiques.



L'article L. 1321-3 précise en outre que :

- "Les indemnités qui peuvent être dues aux propriétaires ou occupants de terrains compris dans un périmètre de protection de prélèvement d'eau destinée à l'alimentation des collectivités humaine à la suite de mesures prises pour assurer la protection de cette eau sont fixées selon les règles applicables en matière d'expropriation pour cause d'utilité publique
- Lorsque les indemnités visées au premier alinéa sont dues à raison de l'instauration d'un périmètre de protection rapprochée, celles-ci sont à la charge du propriétaire du captage"

Enfin l'article R. 1321-6 ajoute notamment que

- "La demande d'autorisation d'utilisation d'eau en vue de la consommation humaine prévue au I de l'article L. 1321-7 est adressée au préfet du ou des départements dans lesquels sont situées les installations"

Le dossier de la demande d'autorisation comprend :

- le nom de la personne responsable de la production, de la distribution et ses variations possibles
- les informations permettant d'évaluer la qualité de l'eau de la ressource utilisée
- l'évaluation des risques de dégradation de la qualité de l'eau
- en fonction du débit de prélèvement, une étude portant sur les caractéristiques géologiques et hydrogéologiques du secteur aquifère ou du bassin versant concerné, sur la vulnérabilité de la ressource et sur les mesures de protection à mettre en place.
- l'avis de l'hydrogéologue agréé en matières d'hygiène publique, spécialement désigné par le préfet pour l'étude du dossier portant sur les disponibilités en eau, sur les mesures de protection à mettre en œuvre et sur la définition des périmètres de protection mentionnés à l'article L. 1321-2...

En résumé, le périmètre de protection immédiate doit être clôturé (par un grillage de 2m de haut, et équipé d'un portail fermé à clé), sauf contre-indication, et toutes activités autres que celles directement liées à l'installation sont interdites. Ce périmètre doit être entretenu sans ajout de produits pouvant avoir un impact sur la qualité de l'eau. En cas de présence d'un groupe électrogène, que celui-ci soit utilisé en permanence ou en sécurité électrique, le stockage du carburant est toujours situé hors du périmètre de protection immédiate et doit être tel qu'aucune pollution ne soit possible).

## 9. Choix entre eau souterraine et eau de surface

Lors de la recherche d'une ressource en eau pour l'alimentation en eau potable, deux types de ressources peuvent être utilisées : des eaux souterraines ou des eaux de surface. Plus la taille de la collectivité est petite, plus les besoins en eau sont faibles, plus le choix devrait s'orienter vers des eaux souterraines, même si celles-ci sont influencées par des eaux de surface.

### a. Avantages des eaux souterraines

Les traitements des eaux souterraines, s'ils sont nécessaires, ne portent que sur un, deux ou trois éléments, dont la microbiologie. Il s'agit de traitements spécifiques, qui peuvent porter sur des éléments issus de la roche réservoir ou liés à une pollution diffuse de la nappe.

Parmi les éléments issus du contact avec la roche réservoir, peuvent être listés :

- le Fer et le Manganèse
- la Minéralisation en général, soit trop faible soit trop forte

Les éléments dus à une pollution de la nappe peuvent être :

- les ions nitrate
- les résidus de pesticides
- des solvants chlorés

Dans la majorité des cas, une étape de désinfection sera nécessaire, et parfois une désinfection de sécurité complémentaire en réseau de distribution, pour maintenir l'effet bactériostatique. Les risques de pollutions accidentelles peuvent être minimisés par la mise en place des périmètres de protection.

Les eaux sont, en théorie, bien protégées par le sol.

- la température reste constante tout au long de l'année : en métropole la température des eaux souterraine se situe aux environs de 12-14°C, sauf bien sûr pour les forages très profonds (de plusieurs centaines de mètres). Dans les tranches de température 12-14°C, ces eaux peuvent être traitées par des traitements biologiques (qui sont sensibles aux faibles températures < 6°C)
- la pollution diffuse se caractérise par sa progression dans le temps. Par exemple, l'augmentation annuelle de la teneur en ions nitrates peut présenter sur certaines zones, une augmentation de 2 à 3 mg/l/an

## **b. Inconvénients des eaux souterraines**

Si la nappe est polluée, la pollution mettra des années voire des dizaines d'années à se résorber. Ainsi des nappes polluées par des hydrocarbures lors de bombardements de réservoirs durant la seconde guerre mondiale ne sont toujours pas utilisables.

Par ailleurs, les quantités d'eau disponibles sont faibles et limitées, en particulier dans le cas d'une réalimentation pluriannuelle, sur des dizaines d'années. Ces nappes ne sont donc pas à privilégier pour l'alimentation de grandes collectivités où les quantités nécessaires sont importantes.

Si ces eaux sont issues de forages très profonds (plusieurs centaines de mètres), il existe un risque d'y constater la présence de légionnelles, qui se développeront en quantités importantes dans le réseau de distribution.

La problématique des pollutions diffuses introduit une forte incertitude quant à la maîtrise de la qualité des eaux à long terme.

## **c. Avantages des eaux de surface**

Les quantités d'eau disponibles peuvent être importantes, ce qui explique qu'elles sont privilégiées pour l'alimentation des grandes villes.

Les pollutions accidentelles s'y résorbent très rapidement, de l'ordre de quelques jours pour les eaux de surface. Dans les eaux souterraines influencées par des eaux de surface, qui relèvent également de cette catégorie (en raison de leur alimentation par des rivières), les pollutions se résorbent en quelques semaines, voire quelques mois.

## **d. Inconvénients des eaux de surface**

Ces eaux sont toujours contaminées par des microorganismes et contiennent toutes des matières en suspension et des colloïdes.

Elles sont le réceptacle de tous les rejets domestiques ou industriels traités ou non traités, des eaux pluviales, du ruissellement. Les risques de pollutions accidentelles y sont donc très importants.

L'usage de telles eaux nécessite de prévoir une surveillance adaptée de la qualité de l'eau brute, au regard des risques. Cette surveillance s'ajoute aux périmètres de protection qui servent, pour leur part, à pouvoir disposer d'un délai de réponse raisonnable en cas de pollution.

En métropole, les températures des eaux de surface peuvent varier de 2 à 3°C l'hiver pour atteindre 20°C voire 25°C l'été.

En période d'eau froide, les traitements biologiques ne fonctionnent pas, la cinétique de désinfection de l'eau est ralentie. A l'inverse quand la température de l'eau dépasse 15°C, la formation d'ions bromates est accélérée lors de la désinfection de l'eau par ozonation et ne permet plus de satisfaire la limite de qualité fixée à 10µg/L.

La dégradation de la qualité de l'eau en distribution peut être accélérée en cas de stagnation de l'eau.

→ Par exemple la dénitrification biologique des eaux de surface n'a jamais été autorisée.

## VI. Traitements de potabilisation des eaux les plus utilisés

Le but des traitements a peu à peu évolué au regard des nouvelles données sur les risques pris en compte par les diverses réglementations issues de l'Organisation Mondiale de la Santé ou de l'Union européenne.

→ Quelles qu'elles soient, toutes les chaînes de traitement doivent être constituées d'étapes agréées par le ministère de la santé puis être agréées, au niveau local, par le préfet sur avis de l'ARS et après passage en CODERST.

### 1. Introduction

Le traitement de l'eau doit intégrer trois idées essentielles :

#### **1. L'eau doit être, avant toute chose, acceptée par les consommateurs**

- par son aspect, son odeur et sa saveur. Ces trois éléments sont en effet les seuls directement appréciables par le consommateur
- par la confiance qu'ils lui accordent. Nombreux sont les consommateurs qui ont un a priori négatif sur la qualité de l'eau du robinet et refusent de la consommer. Cela explique tous les engagements des distributeurs d'eau dans des démarches de management de la qualité suivant divers référentiels : ISO 9001, ISO 22000 mais aussi ISO 14001 et OSHA 18000, et désormais le Plan de Gestion pour la Sécurité Sanitaire des Eaux (PGSSE)
- les réglementations en vigueur ont introduit des obligations d'information des consommateurs sur la qualité de l'eau, en situation normale et lors de non-conformités
- par son prix : l'eau doit être un aliment à la portée de tous. Un prix de l'eau considéré comme élevé par une partie de la population, risque de conduire à une réduction de la consommation notamment liée à l'hygiène corporelle, et donc potentiellement à une augmentation du risque de maladies transmissibles (notamment par le vecteur "mains")

#### **2. L'eau ne doit faire courir aucun risque du fait de sa consommation : risque d'ingestion, de contact et d'inhalation**

Cela se traduit par deux aspects :

- la qualité de l'eau doit respecter certaines obligations de résultats,
- la PRPDE doit respecter les obligations de moyens qui lui incombent et ses obligations de déclaration, le cas échéant.

#### **3. L'eau est un élément livré à domicile en grande quantité, à la demande**

Il est donc indispensable que celle-ci ne se dégrade pas durant son transport et qu'elle ne dégrade pas les ouvrages de transport.

La qualité de l'eau devant désormais être vérifiée au robinet normalement utilisé pour la consommation humaine (et non, comme par le passé, au compteur de l'abonné), les critères de qualité de l'eau incluent les paramètres conduisant à des risques de corrosion dans les réseaux privés: corrosion du plomb, du cuivre, du zinc et du nickel. Les eaux ne doivent pas être agressives vis-à-vis du carbonate de calcium.

#### **Deux questions doivent être posées avant toute décision d'alimentation en eau d'une collectivité**

##### **- Quelle eau traiter ?**

Consulter alors le chapitre V, relatif aux périmètres de protection, qui traite cette question.

## - Comment traiter ces eaux ?

Les nouvelles connaissances acquises tant en microbiologie qu'en physico-chimie ont eu un grand impact sur la conception des chaînes de traitement ainsi que sur les contrôles de qualité de l'eau.

Les traitements se résument en une juxtaposition d'étapes de rétention et de transformation pour ensuite retirer (extraire) de l'eau le composé transformé ;

→ C'est le cas par exemple de la neutralisation des colloïdes négatifs qui peuvent ensuite flocculer et être séparés de l'eau.

→ C'est aussi le cas de la déferrisation et de la démanganisation de l'eau où ces éléments solubles (à la valence 2) sont respectivement oxydés à la valence 3 et 4 pour être sous une forme oxydes ou oxyhydroxydes précipitables, séparables de l'eau.

L'étape de transformation peut aussi avoir pour rôle de laisser les éléments transformés dans l'eau. Ainsi dans les cas des traitements biocides (algicides, bactéricides, virucides) ou de la nitrification biologique qui transforme les ions ammonium en ions nitrates, les éléments transformés restent présents dans l'eau.

→ Ainsi,

- les traitements qui extraient (rétention) le polluant ont l'avantage d'isoler ces composés de l'eau, mais nécessitent de gérer les déchets qui en résultent. L'impact de la séparation sur la qualité de l'eau est normalement nul, sauf si le traitement de rétention retire aussi des éléments solubles

C'est le cas par exemple des traitements de déminéralisation par membrane où l'eau partiellement ou totalement déminéralisée devient agressive, corrosive ou trop peu minéralisée.

- les traitements qui transforment pour ensuite retirer le polluant de l'eau, ne devraient normalement conduire qu'à des problèmes de gestion de déchets. Or il n'en est rien, il y a dans la quasi-totalité des cas des répercussions sur la qualité de l'eau qu'il faudra prendre en compte dans la chaîne de traitement.

Le cas le plus simple est la clarification physico-chimique de l'eau qui induit, lors de l'ajout de coagulants à base de sels de fer ou d'aluminium, une augmentation de la teneur soit en ions chlorure, soit en ions sulfate, mais surtout de l'agressivité de l'eau. Cette agressivité devra être neutralisée dans une étape ultérieure.

### a. Les principaux traitements de rétention

Le dégrillage, le dessablage, le déshuilage, le tamisage, la filtration directe, la filtration membranaire, l'adsorption (sur charbon actif en poudre, sur oxyhydroxydes métalliques...).

### b. Les principaux traitements de transformation et de rétention

La coagulation-floculation-séparation, la déferrisation, la démanganisation chimique ou biologique, l'élimination des ions ammonium par le chlore, la dénitrification.

Ces traitements peuvent conduire à des réactions secondaires (comme la clarification physico chimique déjà citée), le chlore peut aussi, en présence de matières organiques, conduire à la production de composés organochlorés dont les THM sont les plus représentatifs. C'est la raison pour laquelle, en France, la pré chloration

au "Break Point" des eaux brutes de surface est interdite, ce traitement n'est autorisé qu'en fin de filière lorsque la plupart des matières organiques (acides humiques) ont déjà été retirées de l'eau.

### c. Les traitements qui transforment

Tous les traitements biocides : algicides, bactéricides, virucides..., la nitrification auxquels doivent être ajoutés tous les traitements d'oxydation utilisés sur les micropolluants organiques : oxydation directe ou oxydation radicalaire ainsi que la biodégradation.

Ils conduisent exceptionnellement à des composés minéralisés et dans la quasi-totalité, génèrent d'autres molécules parfois non identifiées.

→ De nombreuses études, très récentes pour certaines, ont mis en évidence les limites de ces traitements :

- reviviscence de microorganismes stressés et non tués lors de l'étape de désinfection
- libération d'endotoxine lors de la lyse des cyanobactéries
- réactions secondaires de certains oxydants : chlore, ozone, bioxyde de chlore, rayonnements UV pour les longueurs d'onde < 230 nm
- produits de réaction des micropolluants organiques

La prise en compte de ces nouvelles données a conduit à la modification des chaînes de traitement ou même à l'interdiction de certaines étapes, par exemple :

- le couplage Ozone-filtration sur charbon actif en grain pour éliminer le CODB (Carbone organique biodégradable) généré par l'ozonation de l'eau
- l'interdiction de la préchloration
- l'interdiction des traitements algicides en tête de traitement
- l'interdiction des lampes UV moyenne pression à mercure dont les longueurs d'onde >230 nm n'ont pas été coupées (production de nitrites)
- l'interdiction de la dénitrification biologique des eaux de surface (production de nitrite) lorsque la température de l'eau est inférieure à 8°C.

### d. Dans le cas particulier de la microbiologie :

Comme présenté au chapitre I, au niveau microbiologique, certains pathogènes présentent des risques à des doses (en dénombrement) très faibles en comparaison des risques bactériens.

Pour *Cryptosporidium* et certains virus le risque d'avoir un malade additionnel pour 10 000 habitants et par an, conduirait à ne tolérer qu'un seul pathogène pour 90 m<sup>3</sup> d'eau.

Ces niveaux ne peuvent pas être vérifiés analytiquement, la garantie de qualité de l'eau est donc obtenue de façon indirecte : les pathogènes ne seront recherchés que dans les eaux brutes ; dans les eaux traitées c'est au droit de **chaque étape de traitement** et de l'abattement qu'elle permet que sera contrôlé le respect des normes de qualité (obligation de moyens). La conception de la chaîne doit être telle que l'addition des taux d'abattement de chaque étape permet de garantir, dans sa globalité, le résultat attendu. Le contrôle de la qualité de l'eau consiste alors à suivre les paramètres critiques **du bon fonctionnement** de chaque étape.

→ La garantie de désinfection ne peut être obtenue que par un système multi barrières : rétention ET désinfection. En ce sens, le respect de la valeur limite de turbidité de l'eau filtrée (< 0,5 NFU) permet :

- D'une part d'être assuré d'avoir réduit de façon considérable le nombre de parasites très résistants aux traitements classiques de désinfection chimique
- D'autre part de réduire le nombre de micro-organismes présents dans l'eau (grâce à la rétention) notamment limiter le risque d'avoir des organismes stressés, mais non tués, qui pourraient se revivifier dans le réseau de distribution.

Pour les traitements d'élimination des cyanobactéries, toutes les étapes pouvant conduire à une lyse<sup>17</sup> de ces micro-organismes, avec risque de libération des endotoxines, ont dû être prohibés.

→ Par exemple, les traitements algicides (pré oxydation avec résiduel de sels de cuivre) sont interdits, les traitements de coagulation doivent être optimisés, la flottation est à préférer à la décantation, le lavage des filtres situés en aval est préconisé toutes les 24 heures.

### e. Dans le cas particulier des micropolluants organiques :

Seule la rétention permet d'éviter la transformation des molécules. L'oxydation radicalaire des micropolluants n'est pas autorisée en France : ozone/UV, Ozone/ eau oxygénée, UV/eau oxygénée, Chlore/UV.

Dans la Directive 98/83/CE traitant des eaux destinées à la consommation humaine, pour le paramètre pesticide, la directive précise les paramètres "pesticides et métabolites ou produits de réaction", qui inclut tous les composés néo formés après ces traitements de transformation. Indirectement, la directive interdit donc l'usage de ces procédés d'oxydation.

Pour leur part, les filtres à charbon actif en grain (CAG) permettent une rétention de ces micropolluants, mais, ils génèrent, avec le temps, la sélection de micro-organismes capables de biodégrader des polluants organiques adsorbés (en molécules plus polaires moins adsorbables). Pour éviter ce phénomène (qui permettrait le cas échéant la diffusion de néo-composés dans l'eau), les charbons doivent être régénérés tous les 12 à 18 mois (même s'ils ne sont pas saturés). En effet, seule l'élévation de température (régénération à 800°C) permet de désinfecter le charbon actif en grain et d'éliminer ces microorganismes.

Ainsi les filtres à charbon actif en grain sont progressivement remplacés par des réacteurs à charbon actif en poudre (réacteurs CAP). Dans ce cas le traitement est suivi d'une étape de filtration sur sable voire dans certains cas, d'une filtration sur membranes UF<sup>18</sup> ou MF<sup>19</sup>.

Cependant, les molécules retrouvées dans les eaux sont de plus en plus polaires notamment les pesticides, ou les résidus de médicaments non retenus par les stations d'épuration, ce qui rend l'adsorption sur charbon actif de plus en plus difficile. Il sera à terme impératif de mettre au point de nouveaux systèmes de rétention faisant appel soit à d'autres adsorbants, soit à des systèmes membranaires utilisant la diffusion préférentielle comme la nano filtration...

### f. Conclusion

Les chaînes de traitement doivent être constituées d'étapes de traitement qui permettent d'obtenir les meilleurs résultats tout en minimisant les réactions secondaires.

La garantie de résultats ne pourra être obtenue que par des obligations de moyens et la vérification du bon fonctionnement de ces moyens.

La hiérarchisation des risques a bien montré que quelle que soit la taille de l'installation de production d'eau (EDCH), le risque microbiologique doit être maîtrisé prioritairement et en permanence.

→ Si la directive européenne, transposée dans le code de la santé publique, prévoit des dérogations en cas de dépassement de valeurs limites (s'il n'est fait courir aucun risque inacceptable à la population), elle exclut le risque microbiologique de ce principe dérogatoire. Or, force est de constater que le risque microbiologique est souvent ignoré au profit de risques à long terme ou hypothétiques.

Il est régulièrement constaté, lorsque le personnel d'exploitation des installations de production et distribution d'eau est auditionné, que le risque "aluminium" ou "pesticides" est cité prioritairement au risque microbiologique.

<sup>17</sup> Destruction - désintégration.

<sup>18</sup> Ultrafiltration

<sup>19</sup> Microfiltration

## → FOCUS

Concernant la production d'eau pour les petites collectivités, le choix des ressources à utiliser pour la production d'eau destinée à la consommation humaine doit se faire suivant l'ordre de priorité suivant :

- une eau souterraine vraie (V), de préférence naturellement exempte de contamination microbiologique et chimique, naturellement protégée.
- une eau souterraine vraie pouvant avoir une très faible contamination fécale ou physico-chimique : présence de fer, manganèse, fluor, arsenic. (Ces éléments sont aujourd'hui facilement éliminables)
- une eau souterraine alluviale, exempte de contamination fécale
- une eau souterraine alluviale, pouvant avoir une faible contamination fécale ou physico-chimique (Présence de fer et/ ou de manganèse)
- une eau souterraine influencée par des eaux de surface dont la turbidité maximale ne dépasse pas 15 NFU
- une eau souterraine influencée par des eaux de surface dont la turbidité maximale ne dépasse pas 50 à 60 NFU.
- pour les eaux souterraines contaminées par des micropolluants organiques : pesticides, solvants chlorés,... les filières deviennent complexes et demandent une technicité certaine du personnel. Le regroupement de compétences au sein de services de taille conséquente permet d'utiliser de tels systèmes de traitement
- pour les eaux de surface (eaux de lacs, de barrages réservoirs et de rivières), seules les eaux de qualité A<sub>1</sub>, seront à prendre en considération. Les eaux de qualité A<sub>2</sub> ou A<sub>3</sub> nécessitent des compétences certaines

Les traitements de base permettant de réduire le risque microbiologique à court terme se composent alors :

- d'une simple désinfection. Ce type de traitement ne concerne que des eaux souterraines vraies ou alluviales, sans turbidité > 1 NFU, pas ou peu contaminées au niveau micro biologique sans élément physico-chimique à modifier ou éliminer
- d'une clarification et une désinfection. Cela concerne les eaux souterraines ou alluviales dont la turbidité dépasse 1 NFU, les eaux influencées par les eaux de surface et les eaux de surface de qualité A<sub>1</sub>

Le tableau **11**. suivant donne dans l'ordre de préférence, les eaux brutes à utiliser avec d'une part les traitements de base et d'autre part, en fonction des éléments retrouvés les étapes complémentaires, les traitements à prévoir.

TYPES D'EAUX BRUTES	TRAITEMENTS DE BASE	PARAMÈTRES POUVANT ÊTRE ABSENTS OU PRÉSENTS NATURELLEMENT	TRAITEMENTS À PRÉVOIR, LE CAS ÉCHÉANT	PARAMÈTRES DE POLLUTION ET TRAITEMENTS À PRÉVOIR, LE CAS ÉCHÉANT
Eaux souterraines profondes non contaminées au niveau micro biologique Turbidité < 1NFU	Désinfection de sécurité, effet bactériostatique en réseau de distribution	Teneur en oxygène dissous faible ou très faible : fer, manganèse, ammonium, sulfures Radon Arsenic, sélénium, antimoine, uranium, fluor	Aération ou oxydation Déferrisationet/ou démanganisation Élimination de l'ammonium Élimination des sulfures Aération Adsorption sélective	Pesticides : adsorption sélective Solvants chlorés: stripping et adsorption sélective

<p>Eau souterraine peu profonde pouvant être contaminée au niveau microbiologique Turbidité &lt; 1 NFU</p>	<p>Désinfection et effet bactériostatique en réseau de distribution</p>	<p>Teneur en oxygène dissous faible ou très faible : fer, manganèse, ammonium, sulfures Radon</p> <p>Arsenic, sélénium, antimoine, uranium, fluor.. Eau contenant de l'oxygène dissous : Radon</p> <p>Arsenic, sélénium, antimoine, uranium, fluor..</p>	<p>Aération ou oxydation. Déferrisation et/ou démanganisation. Élimination de l'ammonium. Élimination des sulfures</p> <p>Aération</p> <p>Adsorption sélective</p> <p>Aération</p> <p>Adsorption sélective</p>	<p>Pesticides : adsorption sélective</p> <p>Solvants chlorés stripping et adsorption sélective</p> <p>Nitrates : dénitrification ou dénitratisation</p>
<p>Eau souterraine alluviale pouvant être contaminée au niveau micro biologique Turbidité &lt; 1 NFU</p>	<p>Désinfection et effet bactériostatique en réseau de distribution</p>	<p>Teneur en oxygène dissous faible ou très faible : fer, manganèse, ammonium, sulfures</p> <p>Radon</p> <p>Arsenic, sélénium, antimoine, uranium, fluor.. Eau contenant de l'oxygène dissous : Radon</p> <p>Arsenic, sélénium, antimoine, uranium, fluor</p>	<p>Aération ou oxydation Déferrisation et/ou démanganisation. Élimination de l'ammonium. Élimination des sulfures Aération Adsorption sélective Aération Adsorption sélective</p>	<p>Pesticides : adsorption sélective</p> <p>Solvants chlorés stripping et adsorption sélective</p> <p>Nitrates : dénitrification ou dénitratisation</p>
<p>Eau souterraine influencée par des eaux de surface Turbidité variable pouvant dépasser 2 NFU</p>	<p>Clarification : Turbidité &lt; 0,5 NFU Désinfection et effet bactériostatique en réseau de distribution</p>	<p>Eau contenant de l'oxygène dissous : Radon</p> <p>Arsenic, sélénium, antimoine, uranium, fluor</p>	<p>Aération Adsorption sélective</p>	<p>Pesticides et autres micropolluants organiques: adsorption sélective</p> <p>Nitrates : dénitrification ou dénitratisation</p>
<p>Eau de lac de qualité A<sub>1</sub></p>	<p>Clarification : Turbidité &lt; 0,5 NFU Désinfection et effet bactériostatique en réseau de distribution</p>	<p>Eau contenant de l'oxygène dissous : Algues Matières organiques</p>	<p>Flottation + adsorption sélective toxines Coagulation avancée</p>	<p>Pesticides et autres micropolluants organiques: adsorption sélective.</p>



Eau de barrage réservoir de qualité A <sub>1</sub>	Clarification : Turbidité < 0,5 NFU Désinfection et effet bactériostatique en réseau de distribution.	Eau contenant de l'oxygène dissous : Algues : Matières organiques Teneur en oxygène dissous faible ou très faible : fer, manganèse, ammunim, sulfures	Flottation + adsorption sélective toxines Coagulation avancée Aération ou oxydation Déferrisation et/ou démanganisation Élimination de l'ammonium Élimination des sulfures	Pesticides et autres micropolluants organiques: adsorption sélective. Nitrates : dénitratation Ammonium : nitrification ou si la température de l'eau est trop basse oxydation finale par le chlore.
Eau de rivière de qualité A <sub>1</sub>	Clarification : Turbidité < 0,5 NFU Désinfection et effet bactériostatique en réseau de distribution.	Clarification : Turbidité < 0,5 NFU Désinfection et effet bactériostatique en réseau de distribution	Flottation + adsorption sélective toxines Coagulation avancée	Pesticides et autres micropolluants organiques: adsorption sélective. Micropolluants minéraux : clarification ou adsorption sélective. Nitrates : dénitratation. Ammonium : nitrification ou oxydation finale par le chlore si la température est trop froide

## 2. Étapes actives ou étapes passives

Une étape passive est une étape qui minimise les erreurs humaines. Par exemple, l'étape n'induit pas l'ajout de réactifs dont la dose peut influencer la qualité de l'eau, ou ne fait pas appel à des systèmes mécaniques qui peuvent être à l'origine de pannes. Ce point prend toute son importance dans les DOM ou TOM où les réparations peuvent être longues car les temps d'attente des pièces de rechange (venant parfois de métropole) peuvent dépasser le mois.

→ Un traitement par des coagulateurs ou des flocculateurs utilisant des mélangeurs mécaniques à hélice est par exemple une étape passive.

Tous les systèmes de prévention sont à considérer comme des systèmes passifs. Une bonne protection de la ressource aura pour principe d'éviter la mise en place d'étapes de traitement sophistiquées pour éliminer les pollutions.

Au niveau de chaque étape de traitement, nous spécifierons les étapes passives à utiliser prioritairement.

Pour la potabilisation des eaux, il est possible de faire appel à des traitements physico-chimiques ou des traitements biologiques.

- les traitements physico-chimiques, bien souvent font appel à l'ajout de réactifs chimiques à des doses qui varient en fonction de la qualité de l'eau. Ce sont donc des étapes actives avec un risque d'erreur humaine ou mécanique, sauf si la qualité de l'eau est stable et ne nécessite pas de modification des taux de traitement. Le risque de panne mécanique n'est cependant pas à sous-estimer
- les traitements biologiques quant à eux, ne nécessitent pas de réactif chimique (sauf exception : la dénitrification biologique par exemple), cependant ils sont très sensibles à la température de l'eau et surtout à ses variations

### 3. Étapes de dilution

La dilution de l'eau est une étape qui permet, dans bien des cas, d'éviter des traitements, notamment au niveau de certaines eaux souterraines où un seul paramètre est supérieur aux valeurs limites réglementaires.

Ce type de traitement concerne surtout les ions nitrate, les ions fluorures ou autres micropolluants minéraux et dans certains cas les résidus de pesticides.

Par contre la dilution ne peut pas être utilisée pour la micro biologie, et par extension, pour la turbidité de l'eau. La présence épisodique de turbidité dans les eaux souterraines influencées par des eaux de surface, indique que de l'eau de surface non convenablement filtrée par le sol a été introduite dans la nappe souterraine. Le fait qu'à certaines périodes, cette turbidité baisse même à un niveau inférieur à 0,5 NFU ne signifie pas que le risque "*Cryptosporidium*" a été maîtrisé. Les *Cryptosporidiums*, comme tous les autres pathogènes, ne se diluent pas. Le risque n'est maîtrisé que si l'obtention d'une turbidité < 0,5 NFU est obtenue de façon permanente par mise en place d'une étape de clarification.

### 4. Traitement de base : clarification

La clarification de l'eau peut être obtenue de trois manières :

- clarification physico-chimique (voie physico-chimique qui neutralise les colloïdes chargés négativement pour ensuite pouvoir les éliminer)
- clarification physique par utilisation de membranes poreuses de micro ou d'ultra filtration (voie purement physique par utilisation de membranes capables de retenir les colloïdes de l'eau)
- clarification biologique : filtration lente

#### a. Les prétraitements

Ces prétraitements se composent de toutes les étapes de traitement physique situées entre le pompage de l'eau dans la ressource et l'entrée en l'usine, avant toute adjonction d'un réactif chimique ou d'une étape de filtration simple. Elles seront communes, en totalité ou en partie, à tous les traitements de clarification physico-chimique, physique ou biologique.

→ Pour les eaux de surface qui contiennent des sables, des objets ou des composés flottants, il est indispensable de faire précéder l'étape proprement dite de clarification par des étapes de prétraitement dont le but est de retirer d'une part les matières en suspension de taille importante (les matières en suspension lourdes, surtout les sables qui peuvent avoir un effet abrasif sur les ailettes des pompes) et d'autre part, tout ce qui est flottant y compris des hydrocarbures de surface.

Cela concerne :

- le pompage
- le dégrillage
- le dessablage
- le déshuilage

- le transport de l'eau
- le tamisage
- le micro tamisage
- le débouage
- le stockage dans une cuve ou un bassin d'eau brute
- un second pompage éventuellement
- une aération
- un "stripping"

Toutes ces étapes peuvent exister ou pas, voire se présenter dans un ordre différent. C'est à adapter au cas par cas.

### **Pompage**

Depuis la ressource qui peut-être une eau de surface, une eau de retenue, un puits ou un forage.

### **Dégrillage**

Pour en extraire les objets et autres corps solides, l'eau passe au travers de deux voire trois grilles successives dont l'entrefer varie de 10,5 à 2 cm. Le point critique est l'absence de nettoyage qui provoque un colmatage, l'eau n'arrivera plus ou peu dans l'usine.

Ce traitement concerne les eaux de surface.

### **Dessablage**

Le dessablage s'effectue dans des bassins où la vitesse de l'eau est ralentie, ce qui permet au sable de tomber au fond. Le point critique est l'absence de vidange, car si le bassin se remplit, la vitesse de l'eau augmente. Les sables n'ont pas le temps de s'y déposer.

Ce traitement concerne les eaux de rivières et les eaux influencées par des eaux de surface.

### **Déshuilage**

Le déshuilage peut être effectué par des systèmes statiques implantés au droit du bassin de dessablage. Comme pour le dessablage, les points critiques sont la vitesse critique et l'évacuation des graisses accumulées en surface. Des systèmes à cloison siphonide, des systèmes à pont suceur ou VORTEX pourront y être installés.

Ce traitement concerne les eaux de rivières et les eaux de lacs ou de barrages réservoirs prises en surface.

### **Transport de l'eau**

Les points à prendre en considération sont :

- la distance
- le nombre de conduites
- la vitesse de l'eau

### **Tamisage**

Le tamisage se compose de tambours où l'eau circule de l'intérieur vers l'extérieur au travers d'un tamis dont le diamètre des mailles varie de 1 à 2 cm.

Le point critique est le nettoyage régulier de ces tamis, à défaut le colmatage conduit à une réduction du débit d'eau admis sur l'usine.

Ce traitement concerne les eaux de surface.

### **Micro tamisage**

Comme pour le tamisage, il s'agit de tamis mais le diamètre des mailles varie ici de 50 à 200 microns. Le lavage se fait à contre-courant mais en permanence, la vitesse de rotation du micro tamis est fonction de la cinétique de colmatage. Ils ne sont utilisés que lorsqu'apparaît le risque de crues algales.

Ce traitement concerne les eaux de surface contenant des algues (eaux de lac ou de barrages réservoirs).

### Débourbage

Cela ne concerne que les eaux de surface très chargées en matières en suspension : > 2 g/L et jusqu'à des centaines de grammes /L.

Ce traitement concerne les eaux de rivières dont la turbidité dépasse 2000 NFU (> 2 g/L en MES).

### Stockage de l'eau brute

L'eau brute est stockée dans des réservoirs, des bassins, des bâches d'eaux brutes. Le point critique est le temps de séjour de l'eau. Si ce temps est trop important, il existe un risque de prolifération d'algues (surtout si les ouvrages sont à ciel ouvert et qu'il y a présence de lumière).

### Repompage

Outre le dimensionnement, le pompage, son fonctionnement et la pérennité des installations vont dépendre de la performance des prétraitements qui le précèdent.

### Aération

Cela concerne des eaux souterraines ou des barrages réservoirs sans oxygène, avec de fer et/ou de manganèse solubles dans l'eau. Le traitement peut se composer soit de systèmes passifs : cascades, ruissellement, soit de systèmes actifs : insufflation d'air.

### Stripping

Ce traitement permet l'élimination de composés minéraux ou organiques volatils : les sulfures ; le gaz carbonique en excès, le radon, les solvants chlorés, les additifs des essences MTBE<sup>20</sup>, ETBE<sup>21</sup>...  
Le point critique à maîtriser est le rapport entre le volume d'air et le volume d'eau.

## b. La clarification physico-chimique

Ce traitement consiste à clarifier les eaux par neutralisation des charges des colloïdes présents dans les eaux de surface ou influencées par des eaux de surface.

Les colloïdes peuvent être d'origine minérale (argiles colloïdales, oxyhydroxydes métalliques) ou organique (acides humiques). Dans les eaux naturelles, les particules colloïdales sont chargées négativement.

Le regroupement de ces particules est quasi impossible vu leur charge, il faut donc d'abord les neutraliser grâce à des réactifs chimiques.

La clarification physico-chimique fait appel à des réactifs chimiques qui, une fois dissous dans l'eau, forment soit par simple dissolution, soit après hydrolyse, des colloïdes cationiques qui vont neutraliser les charges des colloïdes naturels.

Cette opération permet aussi la décoloration des eaux naturelles dont la couleur jaune-marron a pour origine la présence d'acides humiques colloïdaux, plus ou moins liés au fer ou au manganèse.

L'ajout d'un réactif formant des colloïdes positifs qui neutralisent les colloïdes présents dans les eaux à clarifier, s'appelle la **coagulation**. Cette coagulation par neutralisation des charges négatives se fait surtout à pH acide. A pH neutre, il n'y a qu'un piégeage des colloïdes dans les hydroxydes de fer ou d'aluminium (c'est la raison pour laquelle on enlève beaucoup moins les acides humiques).

Une fois neutralisés, les colloïdes peuvent se regrouper pour former des floccs. Cette étape est appelée **floculation**. Afin d'améliorer la cohésion de ces floccs, des adjuvants de coagulation peuvent être ajoutés. Ce sont soit des biopolymères naturels : polysaccharides : amidon, alginates..., soit des polymères de synthèse.

---

<sup>20</sup> Methyl tert-butylether

<sup>21</sup> Ethyl tert-butylether

Ces floccs peuvent être séparés de l'eau de 3 façons différentes :

- par décantation si les particules sont plus denses que l'eau
- par flottation si les particules sont rendues moins dense que l'eau
- par rétention sur un filtre pour les eaux ayant peu de colloïdes à éliminer : la coagulation sur filtre

→ La décantation est très efficace pour des eaux ayant des turbidités allant de 3 NFU jusqu'à 2 g/L de MES (1000 à 2000 NFU).

La flottation est plutôt réservée à des eaux dont la turbidité varie de 0,5 NFU à 60 NFU.

La coagulation sur filtre est réservée à des eaux peu turbides, de l'ordre de 0,5 NFU et ne dépassant pas 10 à 15 NFU.

Dans le cas de la décantation et de la flottation, l'affinage de la clarification se fait par une étape de filtration, soit par passage dans un filtre constitué de matériaux granulaires (sable, anthracite, argiles cuites concassées, charbon actif...) soit à travers une membrane de micro ou d'ultra filtration.

Toutes ces étapes sont agréées et figurent dans la [circulaire 2000-166 du 28/03/2000](#).

### Coagulation

Les réactifs utilisables sont :

- le sulfate d'aluminium à des doses de 10 à 100 ppm.
  - les prépolymères d'aluminium : chlorure d'aluminium pré neutralisé par de la soude ou du silicate de sodium
  - le chlorure ferrique à des doses de 10 à 100 ppm de produit technique : solution de chlorure ferrique à 40% de densité 1,4.

L'emploi du sulfate d'aluminium peut poser problème pour les eaux peu minéralisées dont le TH est inférieur à 5°f. Une pré-reminéralisation est alors nécessaire, par ajout de chaux après acidification éventuelle.

Les sels d'aluminium présentent l'inconvénient d'être solubles dans l'eau tant à pH acide (pH < 6,2) qu'à pH alcalin (pH > 7,5). C'est pourquoi [La circulaire 2000-166 du 28/03/2000](#) précise l'agrément des sels d'aluminium mais limite le pH de l'eau au moment de la séparation floc/eau à la fourchette pH 6- pH 7,5. Avec certains prépolymères de l'aluminium agréés, le pH maximum peut être de 7,8.

Depuis 2004 des poly électrolytes cationiques de synthèse ont été autorisés en France :

- polyacrylamide cationique
- polyDADMAC, poly électrolytes cationiques

Ces réactifs de coagulation, toujours utilisés en association avec les coagulants minéraux classiques, ne peuvent généralement remplacer que 50% de ces réactifs.

Certains réactifs (argiles, bentonite, ou charbon actif en poudre) peuvent être utilisés soit pour alourdir le floc, soit pour l'adsorption de composés présents dans les eaux à traiter.

Les points critiques pour cette étape sont :

- l'agitation permettant un gradient hydraulique de 600 qui peut être obtenu de façon passive et l'introduction des réactifs en amont :
  - d'un venturi
  - d'un système en serpentif, qui crée des turbulences
  - dans la tulipe d'arrivée des eaux brutes
  - dans une cascade

Ces systèmes ont l'avantage d'être des systèmes passifs qui ne génèrent pas de pannes.

- l'agitation de façon active par une agitation mécanique (avec un agitateur à pales) présente un risque de panne important. L'agitation doit se faire en permanence lors du fonctionnement de l'usine, il faut donc avoir à disposition des pièces de rechange (ce qui doit être anticipé notamment dans les DOM ou TOM).

Pour une coagulation de contact, les réactifs sont ajoutés dans les canalisations : il est important de déterminer et maîtriser les doses de réactifs à utiliser (en fonction du débit d'eau à traiter). Les points de contrôle sont :

- la concentration de la solution contenant les réactifs (les réactifs ne sont pas injectés purs)
- la mesure du débit de fonctionnement
- la marche de la pompe à réactif

Cette étape est une étape active donc sujette à des pannes mécaniques ou des erreurs humaines.

En outre il est important de signaler toute modification de composition de la solution contenant le réactif de coagulation, notamment dans le carnet sanitaire.

### **Floculation**

Afin d'augmenter la cohésion du floc, lors de la floculation, des adjuvants de floculation ont été utilisés par le passé :

- la silice activée obtenue par réaction du silicate de sodium sur de l'acide sulfurique. Ce réactif n'est quasiment plus utilisé à cause des risques encourus par les exploitants lors de sa préparation. Il a peu à peu été remplacé dans les usines de production d'eau potable par des poly saccharides déjà utilisés en industrie alimentaire
- l'alginate de sodium
- les amidons modifiés
- la gomme xanthane (RODOPOL R); [La circulaire 2000-166](#) précise que la concentration de l'alcool isopropylique ne doit pas dépasser 1000ppm

Des polymères de synthèse sont ensuite apparus. Ces produits sont obtenus par polymérisation ou co polymérisation de l'acrylamide monomère. Des critères de pureté leur sont applicables (200 ppm en monomère) pour ne pas dépasser les limites de qualité en acrylamide monomère dans l'eau. En effet, les méthodes de dosage ne permettent pas de vérifier la qualité de l'eau car les limites de détection des polymères sont trop faibles. Pour garantir de qualité de la solution, il est donc nécessaire de respecter d'une part les critères de pureté du réactif et d'autre part les doses limites de traitement (0,5 ppm pour une pureté de réactif de 200 ppm en monomère).

Lors de cette étape, l'agitation de l'eau doit être plus modérée et passer d'un gradient hydraulique de 600 à 60. Plusieurs solutions peuvent être envisagées :

- une solution passive par utilisation d'un flocculateur à chicanes, avec un espace croissant entre les chicanes pour réduire la vitesse de l'eau. Ce système fonctionne sans aucun risque de panne, mais il occupe plus de place que les flocculateurs à agitation mécanique
- une solution active, donc avec risque de panne, consiste en l'adoption de flocculateurs à agitation lente mécanique. L'arrêt de l'agitation lente conduit à une mauvaise formation du floc. Il faut disposer des pièces de rechange sur place
- dans le cas de la coagulation sur filtre, la floculation se fait au-dessus du filtre
- dans le cas des systèmes à pulsation, la floculation a lieu dans la cloche des pulsations

### **Amélioration de la coagulation**

Ces améliorations résultent de la mise en évidence d'éléments dans l'eau traitée :

- soit de molécules organochlorées issues de la réaction du chlore sur les matières organiques des eaux brutes préchlorées
- soit la présence de molécules susceptibles de réagir ensuite avec les oxydants utilisés pour la désinfection de l'eau : Chlore ; Bioxyde de chlore, ozone

De nombreuses modifications ont été apportées.

- d'une part la suppression de la préchloration au BREAK POINT des eaux de surface (ou influencées par des eaux de surface), d'autre part la modification de la coagulation dans le but de mieux éliminer les matières organiques des eaux (les acides humiques).

Avec la suppression de la préchloration, d'autres réactifs de substitution ont été testés, notamment la préozonation. Les recherches effectuées ont montré l'existence d'une dose optimum d'ozone pour déstabiliser les acides humiques et faciliter leur élimination par clarification physico chimique.

La dose d'ozone doit être comprise entre 0,2 et 0,25 mg d'ozone par mg de carbone organique. Si le dosage est plus important, la molécule est cassée et rendue plus soluble, donc plus difficile à éliminer.

Après la pré ozonation, il n'y a pas de résiduel d'ozone, cette étape ne peut donc conduire à la formation de bromates dans le cas où l'eau brute contiendrait des bromures. En outre, à cette dose, l'ozone n'est ni bactéricide, ni algicide.

Toutefois, pour que cette étape de traitement soit efficace, il est impératif que l'eau contienne suffisamment d'ions calcium, le TH doit être  $> 5^{\circ}f$ . C'est la raison pour laquelle, dans certains cas, il est indispensable d'effectuer une pré-reminéralisation partielle de l'eau pour atteindre ce TH. Les moyens consistent à acidifier l'eau avec du gaz carbonique ou un autre acide (HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) et à ajouter de la chaux.

- une autre modification a été proposée pour mieux éliminer les acides humiques : la coagulation avancée

Elle consiste à effectuer la coagulation à pH 5 ou 5,5 avec des sels ferriques puisqu' à ce pH, les sels d'aluminium ne sont pas utilisables.

Normalement la dose optimale de fer à utiliser pour la clarification avancée est de l'ordre de 2 mg de fer ferrique (Fe<sub>3</sub><sup>+</sup>) par mg de carbone organique.

L'eau est acidifiée à l'aide d'acide sulfurique ou d'acide chlorhydrique ou idéalement par ajout de gaz carbonique. Dans la quasi-totalité des cas, les eaux riches en acides humiques sont peu ou très peu minéralisées et n'ont pas d'effet tampon, les doses d'acide à utiliser sont donc assez faibles.

L'avantage du gaz carbonique est qu'il peut aussi être utilisé pour la pré reminéralisation de l'eau (en amont de la pré ozonation et la coagulation avancée, voir ci-avant).

La reminéralisation totale de l'eau, nécessaire à sa mise en distribution ou aux étapes de traitement suivantes, se fait entre la décantation ou la flottation et la filtration.

## Séparation

La séparation est l'étape qui permet la séparation des floccs formés et de l'eau.

Dans le cas de la coagulation sur filtre, cette séparation se fait dans le filtre en profondeur.

Il existe aussi des systèmes où la séparation se fait dans un lit filtrant constitué de matériaux grossiers : la taille effective variant de 2 à 3 mm avec des vitesses de filtration de 10 à 15 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/ heure, c'est une coagulation de contact.

Cette séparation peut se réaliser de 3 façons différentes :

- **par décantation** si les particules sont plus denses que l'eau. La décantation peut faire appel à des systèmes statiques, dans lesquels la séparation ne se fait que par la force de gravité, la vitesse de séparation étant fonction de la différence de densité entre l'eau et les particules. Pour ces systèmes passifs, les risques d'erreurs sont dus à :
  - une vitesse d'eau trop importante
  - un dépôt de boues au fond du réacteur trop important
  - une mauvaise coagulation et/ou floculation

L'amélioration de la décantation et l'augmentation des vitesses de passage de l'eau dans ces réacteurs ont été obtenues par la **décantation lamellaire**. Mais ce système passif présente également des risques d'erreurs liés :

- au décrochage des lamelles. Une vérification régulière doit être programmée et effectuée
- à une vitesse d'eau trop importante
- à un dépôt de boues entre les lamelles qui augmente la vitesse de l'eau et l'entraînement des boues. Les lamelles doivent être régulièrement nettoyées (à l'eau sous pression). Le système peut en outre s'effondrer du fait du poids des boues
- une mauvaise coagulation et/ou floculation

La décantation peut aussi faire appel à des **systèmes dynamiques** dans lesquels les floccs sont freinés par une densité très forte de boues dans les décanteurs. Les boues sont donc constamment remises en suspension. Une amélioration a aussi été apportée sur ces ouvrages par l'ajout de lamelles. Ils constituent des systèmes actifs, il est donc indispensable que le système de remise en suspension des boues soit en bon état de fonctionnement.

Pour **les systèmes à pulsation**, il est indispensable de s'assurer :

- du bon fonctionnement du système mécanique d'aspiration de l'eau dans la cloche de pulsation. Dans la mesure où l'arrêt des pulsations induit une très mauvaise séparation du floc de l'eau, il est indispensable d'avoir les pièces de rechange sur place
- du bon dimensionnement d'une part de la hauteur d'eau dans la cloche et d'autre part, du temps de montée de l'eau avant ouverture à l'atmosphère de la cloche de pulsation
- du bon fonctionnement du système de mise à l'atmosphère de la cloche de pulsation
- bien souvent, les nouveaux ouvrages sont pilotés à partir d'une carte électronique. En zone tropicale ou équatoriale, en atmosphère chaude et saturée d'humidité, ces cartes peuvent tomber rapidement en panne, il est indispensable d'en avoir à disposition sur l'usine (et à l'abri de l'humidité)
- d'une vitesse d'eau trop importante
- d'une mauvaise coagulation et/ ou floculation
- de la présence d'un lit de boue suffisamment important pour que le système fonctionne correctement. Ceci nécessite 8 à 12 heures d'attente au démarrage pour obtenir un rendement suffisant. Si l'usine s'arrête plus de 6 à 8 heures, le lit de boue tombe au fond de l'ouvrage, il faudra alors 2 à 4 heures pour remettre les boues en expansion. Ce dispositif n'est pas adapté aux usines à fonctionnement séquentiel.

Il existe aussi des systèmes où le lit de boue est mis en expansion mécaniquement. Les problèmes signalés lors des arrêts d'usine sont minimisés, mais au démarrage il sera indispensable de contrôler la formation du lit de boue avant de pouvoir compter sur l'efficacité de l'ouvrage.

La décantation peut faire appel à des **systèmes statiques** où la séparation du floc est améliorée par son alourdissement. L'alourdissement du floc est obtenu par un système breveté d'ajout de micro sable de silice dans le floc déjà formé. Le micro sable, dont la granulométrie est de l'ordre de 5 à 10 micromètres, est ensuite recyclé après séparation par centrifugation. La concentration en micro sable de l'eau doit être de 20 à 40 g/L. Le système peut encore être amélioré par ajout de lamelles (et fonctionner en **décanteur lamellaire**). C'est un système actif où les risques de pannes du système de recyclage du micro sable ne doivent pas être sous-estimés.

Pour ce système, les risques d'erreur sont dus :

- à une panne du système de recyclage du micro sable
  - pour les systèmes lamellaires : au décrochage des lamelles. Une vérification régulière doit être programmée (le poids des boues peut avoir des conséquences désastreuses)
  - à un dépôt de boues entre les lamelles qui fait augmenter la vitesse de l'eau et l'entraînement des boues. Les lamelles doivent être régulièrement nettoyées (à l'eau sous pression)
  - à une vitesse de l'eau trop importante
  - à une mauvaise coagulation et /ou floculation
- **par flottation** si les particules sont rendues moins denses que l'eau en raison des microbulles d'air incluses dans le floc qui doit, pour ce faire, être très bien formé. La flottation se fait par pressurisation d'une partie de l'eau (1/10) (mise en pression à 4 ou 4,5 bars) suivie d'une mise à la pression atmosphérique très rapide. La flottation est l'étape de choix pour la rétention des algues et notamment les cyanobactéries. Elle donne aussi de meilleurs résultats que la décantation pour la rétention des parasites pathogènes : *Giardia et Cryptosporidium*. Les boues sont régulièrement éliminées de la surface de l'ouvrage par raclage.

Pour ce système actif, les risques d'erreur sont :

- une mauvaise coagulation et/ou floculation. Le temps de floculation doit être > ou = à 15 min
- une panne dans le système de mise en pression de l'eau
- un floc trop lourd (présence de micro sable). La turbidité de l'eau à traiter ne doit pas dépasser 60 NFU
- la flottation est le traitement de choix pour les eaux de lacs ou barrages réservoirs



Ces traitements conduisent à la production de déchets et d'effluents (eaux sales) qui devront être gérés conformément à la réglementation en vigueur. Ils sont de l'entière responsabilité du service de l'eau.

- **par coagulation sur filtre** (voir ci-après)

### **Filtration**

Après la décantation ou la flottation, ou **directement après la coagulation** (dans le cas de la coagulation sur filtre), vient une étape de filtration, qui peut se faire soit par passage dans un filtre constitué de matériaux granulaires (sable, anthracite, charbon actif...), soit au travers d'une membrane de micro ou d'ultra filtration. Son objectif est de respecter une turbidité de l'eau < 0,5 NFU, seule la filtration à une vitesse  $\leq 10$  m/heure est envisageable : il s'agit d'une filtration rapide.

Dans des cas particuliers, l'étape de filtration peut aussi jouer le rôle d'étape d'adsorption spécifique : adsorption des micropolluants organiques sur charbons actifs en grain ou adsorption spécifique de composés minéraux sur dioxyde de manganèse.

Dans cette étape de filtration, seuls les graviers sont utilisés comme support de matériaux plus fins.

Il existe 2 types de filtration :

- la **filtration de surface** ou "cake filtration" qui utilise des matériaux très fins ( $D_{10}$  = de 0,3 à 0,4 mm) dont les lavages se font en expansion totale. Ce type de filtration n'est quasiment pas utilisé en France
- la **filtration en profondeur** ou "deep filtration" qui utilise des matériaux de diamètre plus gros ( $D_{10}$  = 0,8 à 1 mm) dont les lavages se font à l'eau et l'air. Ce type de filtration est très fréquent en France.

Les sables sont à base de silice, d'anthracite, d'argile cuite concassée, de pierre ponce, de pouzzolane ou de grenat. Les principales caractéristiques physiques du média filtrant sont :

- la taille effective des grains qui varie de 0,8 à 1mm. ( $D_{10}$  sur la courbe granulométrique)
- le coefficient d'uniformité qui varie de 1,4 à 1,5. ( $D_{60}/D_{10}$ )
- la dureté : seuls des matériaux durs sont utilisés. Lorsque la filtration comprend une étape de filtration sur charbon actif en premier étage (juste après l'étape de séparation des floccs par décantation ou flottation), des charbons actifs spéciaux sont nécessaires pour cet étage de filtration
- la résistance à l'acide car les eaux coagulées chimiquement sont agressives vis-à-vis du carbonate de calcium

Cette diversité de matériaux de densités différentes, permet d'avoir des filtres multicouches. La granulométrie des matériaux, les coefficients d'uniformité, la hauteur des couches et la vitesse de filtration permettent d'obtenir des eaux filtrées dont la turbidité s'élève de 0,1 à 0,2 NFU.

Comme la filtration est une filtration en profondeur, la hauteur de matériaux dans le filtre joue un rôle important.

À la mise en service, cette hauteur est de l'ordre du mètre. Mais les risques de perte de matériaux sont multiples :

- lors des lavages de filtres
- si des buselures (nécessaires à l'injection d'air lors des lavages) en fond de filtre sont endommagées

Il sera donc indispensable :

- à la fin des lavages de filtres, de repérer les petits cratères formés aux endroits où des buselures sont détériorées
- une fois par an, de mesurer la hauteur de matériau résiduel et la compléter le cas échéant

L'étape critique des filtres est "la crevaisson", c'est-à-dire le moment où la turbidité (des MES) passe à travers le filtre. L'idéal serait d'avoir une mesure en continu de la turbidité de l'eau issue de chaque filtre, mais les turbidimètres nécessitent de l'entretien pour garantir en permanence l'exactitude des mesures. Bien souvent la turbidité n'est mesurée que sur l'eau filtrée en sortie de filtration (sur le volume d'eau traité global). Il est donc indispensable de se fixer une limite de turbidité de 0,3 NFU. Le déclenchement du lavage du filtre sera donc initié (après étude lors de la prise en main de l'installation) soit à partir d'une mesure de la turbidité, soit à partir de la perte de charge mesurée au droit du filtre, soit à partir de nombre d'heures de fonctionnement. Le premier des trois défauts qui apparaît, quel qu'il soit, doit déclencher un lavage. Il est donc indispensable de s'assurer de la stabilité de

la turbidité de l'eau décantée ou flottée en amont. Si le turbidimètre de contrôle amont signale une dérive de la turbidité, l'exploitant devra modifier les conditions du traitement (augmenter la fréquence des lavages).

À la fin du cycle de lavage du filtre, il est indispensable lors de sa remise en fonctionnement, de ne pas introduire les premières eaux (issues des 15 à 20 premières minutes de filtration) dans la chaîne de production.

Le second point critique est le changement de vitesse de filtration : la variation ne doit pas dépasser 3% / minute. Ces variations de vitesse peuvent être importantes lorsque qu'une petite unité de traitement ne comporte que très peu de filtres : à l'arrêt d'un filtre pour lavage, toute l'eau est répartie sur les autres filtres en fonctionnement. Ceci entraîne des survitesses dans ces filtres, avec des risques de décrochage de particules et surtout de micro-organismes. Afin de pallier cette difficulté, il existe des systèmes dans lesquels l'eau continue partiellement à alimenter le filtre en lavage.

→ **FOCUS** sur l'efficacité de rétention de la clarification physico-chimique

Elle ne peut se mesurer sans évoquer quelques définitions :

- R = Élimination ou abattement d'un microorganisme ou d'une particule inerte : turbidité ou billes de latex
- $R = C_o / C_e$  inerte (turbidité ou billes de latex)
- $C_o$  = concentration initiale
- $C_e$  = concentration finale
- E = efficacité de rétention :  $E = (C_o - C_e) / C_o = 1 - C_e / C_o$
- $E = 1 - 1/R$
- $\text{Log } R = -[\log (1 - E)]$

La clarification classique concerne : la coagulation, la floculation, la décantation et la filtration.

Le dosage de réactif de coagulation (sans ajout d'adjuvant de floculation) est tel que la turbidité de l'eau filtrée soit + 0,1 NFU.

Le tableau **12.1** donne, pour indication, les résultats obtenus pour différents microorganismes et particules inertes avec un traitement classique de clarification optimisé.

MICROORGANISMES OU PARTICULES	POTENTIEL ZÉTA	ABATTEMENTS : LOG R
<i>Giardia lamblia</i>	-30 mV	3,2 < log R < 3,4
<i>Giardia muris</i>		= 2,3
<i>Cryptosporidium parvum</i>	-47 mV	2,2 < log R < 3,4
Amibe : <i>Entamoeba histolytica</i>		2 < log R < 3
Algues sauf <i>Chlorella</i>	-13 à -36 mV	3 < log R < 3,1
Algues <i>Chlorella</i>	-5 mV	1,5 < log R < 2
<i>E. coli</i>		1,1
Coliformes totaux		1,6
Entérocoques intestinaux		2
<i>Clostridium perfringens</i> ( BASR)		2,5
Virus MS2 ( Coliphage)		3
Entérovirus		4
Particules inertes : billes de latex		2,3 < log R < 2,4
Turbidité	-100 mV à -200 mV	2 < log R < 2,5



→ Pour les fortes concentrations en microorganismes ou particules inertes, log R ne varie que très peu avec les variations de ces éléments dans l'influent (eau à traiter).

En revanche, pour les faibles concentrations, log R varie proportionnellement à la concentration dans l'influent

La filtration, qu'elle soit mono couche ou bicouche, conduit à des résultats similaires.

Le tableau **12.2** donne une comparaison des abattements obtenus avec une coagulation sur filtre et une clarification classique.

MICROORGANISME OU PARTICULE INERTE	LOG R : CLARIFICATION CLASSIQUE	LOG R : COAGULATION SUR FILTRE
<i>Cryptosporidium parvum</i>	3,7	2,3
<i>Giardia muris</i>	4	2,2
Turbidité	2,1	1

Le tableau **12.3** montre l'effet de la dose de coagulant ajoutée sur log R:

- D = Dosage optimal
- D ½ = dosage optimal divisé par 2.
- D 0 = Aucun ajout de réactif (filtration directe)

MICROORGANISME	LOG R : D	LOG R : D 1/2	LOG R : D0
<i>Giardia lamblia</i>	3,3	1,3	0,4
<i>Cryptosporidium parvum</i>	2,9	1,1	0,8
Amibes : <i>Entamoeba histolytica</i>	2,7	1,4	0,8

### c. Clarification physique utilisant des membranes poreuses de micro ou ultra filtration

#### Micro filtration

Les principales caractéristiques des membranes utilisées pour la micro filtration sont :

- point de coupure < ou = à 0,5 µm
- élimination de *Giardia* ou *Cryptosporidium* (3 à 4 log) à condition de pouvoir détecter un défaut dont la taille est ≤ 1 µm
- pas de revendication possible pour la rétention des bactéries et des virus
- aucune action sur les éléments solubles de l'eau dont les matières organiques

Elles permettent la filtration directe d'eaux de surfaces (ou influencées par des eaux de surface) de qualité A1 dont la turbidité ne dépasse pas 10 NFU, qui doit être impérativement complétée par une étape de désinfection.

Ce type de membrane est de moins en moins utilisé, il n'existe d'ailleurs à ce jour plus aucune membrane agréée par le ministère de la santé.

## **Ultra filtration**

Elle permet la filtration directe d'eaux de surfaces ou influencées par des eaux de surface de qualité A1 (au sens du [R1321-38](#) du code de la santé publique) dont la turbidité ne dépasse pas 50 NFU. Pour les eaux de surface un prétraitement est indispensable. Par ailleurs, cette étape doit être complétée par une étape de désinfection.

Les principales caractéristiques des membranes utilisées pour l'ultra-filtration sont :

- point de coupure  $<$  ou  $=$  à environ 200 000 Dalton<sup>22</sup>
- élimination de Giardia ou Cryptosporidium (3 à 4 log) à condition de pouvoir détecter un défaut dont la taille est  $<$  ou  $=$   $1\mu\text{m}$
- élimination des bactéries (3 à 4 log) à condition de pouvoir détecter un défaut dont la taille est  $<$  ou  $=$   $0,15\mu\text{m}$
- pas de revendication possible pour la rétention des virus. Il est impossible de détecter un défaut de la taille d'un virus libre
- aucune action sur les éléments solubles de l'eau dont les matières organiques de masse molaire inférieure à  $10000\text{g/mol}$
- incompatibilité avec un ajout en amont de poly électrolytes (risque fort de colmatage des membranes). Nécessité dans ce cas, d'avoir une étape de filtration sur sable en amont des membranes
- l'usage de la membrane après une étape de coagulation-floculation, est une hypothèse qui doit être validée
- incompatibilité avec la présence dans l'eau de fer ferreux et de manganèse. La présence de ces deux éléments nécessite une étape de traitement spécifique au préalable

L'ultra filtration est l'étape de choix pour les eaux influencées par des eaux de surface. La filtration en mode frontal concerne la filtration directe au travers de la membrane, la filtration en mode tangentiel consiste à imposer une vitesse très rapide de l'eau tangentiellement à la membrane, cela permet la filtration d'eaux plus turbides.

L'ultra filtration membranaire, même si elle n'est pas reconnue comme étape de désinfection physique, constitue un très bon pré traitement pour la désinfection finale. En effet, elle retire préférentiellement tous les microorganismes résistants aux traitements de désinfection : microorganismes protégés par des colloïdes ou MES, spores, kystes, oocystes.

L'ultra filtration membranaire peut, en outre, être utilisée en affinage final après des filtres à charbon actif en grains ou des réacteurs à charbon actif en poudre.

Les points critiques sont :

- la vérification du colmatage (avant qu'il soit irréversible) afin de programmer des lavages chimiques
- la détection des "trous" dans les membranes (passages préférentiels sans filtration)
- la gestion des arrêts de courte et longue durée, les membranes sont biodégradables
- la résistance aux oxydants pouvant être présents dans l'eau

## **d. Clarification biologique de filtration lente**

Ce traitement est le plus ancien traitement de clarification des eaux. Historiquement le premier filtre lent utilisé a été le filtre PEACOCK installé par GIBB à PAISLEX en Ecosse en 1804, c'était un filtre lent horizontal précédé d'un bassin de décantation ou de débouage et d'un filtre dégrossissant rempli de graviers.

### **Principe de fonctionnement**

Les eaux turbides ne peuvent pas se clarifier naturellement, leur turbidité est due à la présence dans l'eau de colloïdes.

Dans le cas de la filtration biologique lente, la clarification se fait par adsorption des colloïdes négatifs sur des bio films (exo polysaccharides bactériens) déposés sur les médias filtrants. Cette adsorption nécessite :

- que le média filtrant soit recouvert de bio film ce qui équivaut à attendre la maturation (ou ensemencement) du

---

<sup>22</sup> Le dalton est l'unité de masse d'une macromolécule (protéine ou polysaccharide) utilisée pour la détermination de la porosité de la membrane. Le fournisseur doit préciser les molécules utilisées pour la détermination de la porosité. Les virus sont également quantifiés en Dalton du fait de leur taille similaire aux protéines.

filtre lent. Le temps de maturation d'un filtre lent varie suivant la qualité de l'eau brute et du temps de contact eau/matériau, donc de la vitesse de filtration qui doit être très faible. (5 à 10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/ jour)

- mais ce temps de maturation dépend principalement de la température de l'eau, en général, ce temps est d'autant plus long que la température de l'eau est basse. Il peut être de 3 à 4 semaines en période chaude et dépasser 3 mois en période froide

Dans la mesure où il s'agit d'une adsorption des colloïdes sur les sites actifs des biofilms, la quantité de colloïdes doit être maîtrisée pour éviter une saturation des sites actifs, dont le risque serait un abattement de turbidité insuffisant. C'est la raison pour laquelle l'instruction de 1929 précisait déjà : "Il ne faut pas traiter des eaux trop riches en argiles colloïdales". Pourtant à cette époque, aucune limite de turbidité n'avait été fixée de façon précise.

Au niveau international, il est aujourd'hui reconnu qu'une filtration lente à la vitesse de 5 m/jour, avec un mètre de matériau filtrant et des filtres ayant atteint la maturation, permet un abattement de 0,8 à 1,5 log de turbidité.

Appliquer ces valeurs d'abattement pour un objectif de turbidité de l'eau filtrée au maximum de 2 NFU<sup>23</sup>, revient à respecter les valeurs fixées dans la circulaire 2000-166 du 28 mars 2000, soit respecter une turbidité des eaux brutes maximale de 20 à 50 NTU. Depuis le décret du 20.12.2001 puis le [décret du 11 janvier 2007](#), la valeur de turbidité à atteindre est de 0,5 NFU (référence de qualité).

→ La turbidité des eaux brutes ne doit donc pas dépasser 10 NFU et pour une courte durée 15 NFU

Comme les eaux turbides contiennent, en plus des colloïdes, des matières en suspension, les traitements de filtration lente doivent être précédés d'étapes de pré traitement : dégrossissage de l'eau par filtration rapide sur gravier (10 à 15 m/ heure) et pré - filtration rapide sur sable de taille effective de 1mm environ (10 m/ heure) ou un micro tamisage... Les matières en suspension non retenues par ces étapes de pré traitement, le sont ensuite par la membrane biologique qui se développe en surface de filtre, joue un rôle de tamis (cette membrane biologique est souvent appelée par son terme allemand : Schmutz Deckel).

Ces pré traitements sont nécessaires, car à la différence de la filtration rapide, la clarification biologique ne permet pas les lavages à contre-courant. Lorsque la surface des filtres biologiques est colmatée, il faut procéder à un lavage de surface (raclage), voire à l'élimination des premiers centimètres de sable. Il est donc nécessaire d'éliminer autant que possible les MES en amont.

À noter que la quasi-totalité de l'épuration a longtemps été attribuée à la membrane biologique, alors qu'aujourd'hui, il est reconnu que l'épuration se fait sur toute la hauteur du matériau...

Lorsque le filtre est colmaté en profondeur, il est nécessaire de retirer le sable, le laver et le remettre dans le filtre. Il faudra toutefois attendre le réensemencement du filtre (maturation) avant de pouvoir considérer le traitement comme efficace.

Lorsque seule la couche de surface (membrane biologique) est éliminée, soit par raclage du sable, soit par un nettoyage de surface, il n'est pas nécessaire d'attendre son réensemencement avant sa remise en service. Cela confirme le fait que la rétention des colloïdes se fait sur toute la hauteur de sable, ces filtres sont en outre très efficaces pour la rétention des parasites (*Giardia* et *Cryptosporidium*) et des virus.

Compte tenu des faibles vitesses de l'eau, la gestion des filtres en période de grands froids peut être délicate.

Certains colloïdes ne sont pas adsorbables, il n'y a donc pas de relation linéaire entre l'abattement de la turbidité et l'augmentation de la hauteur de couche filtrante, ou la mise en place de filtrations lentes en série. Le rendement est asymptotique.

La filtration lente est un traitement passif, dont les points critiques sont :

- la vitesse de filtration
- les lavages de filtres en surface et en profondeur
- la température de l'eau si celle-ci est < 5°C
- la présence dans l'eau de toxiques pour les micro-organismes

<sup>23</sup> NFU (Nephelometric Formazin unit) constitue l'unité de mesure de la turbidité standard (mesure de la turbidité sous un angle de 90° à une longueur d'onde de 860nm), le NTU constitue l'unité de mesure de la turbidité des Etats Unis (mesure de la turbidité sous un angle de 90° mais à une longueur d'onde différente) ainsi pour de faibles turbidités, inférieures à 10 à 20 NFU, 1 NFU=1NTU ; pour des turbidités supérieures, 1NFU=0,6NTU

Les prétraitements physiques à prévoir sont :

- le dégrillage
- le dessablage et le déshuilage
- éventuellement un tamisage

Cependant le défaut de cette technique passive, est la surface que nécessitent les filtres, qui alourdit à la fois les charges d'investissement et d'entretien d'une telle usine.

### **Rôle biologique de la filtration lente**

La filtration lente entraîne également l'oxydation biologique de certains micropolluants minéraux, éliminés ensuite par une rétention ou laissés dans l'eau traitée après transformation.

- l'oxydation et la rétention concernent l'oxydation biologique du fer et du manganèse
- la transformation laissant dans l'eau les éléments oxydés concerne les composés bio oxydés comme les ions ammonium et les ions sulfures qui donnent respectivement des nitrates et des sulfates

Ces oxydations biologiques peuvent avoir lieu dans des filtres rapides à des vitesses égales ou supérieures à celle utilisées pour la clarification physico chimique des eaux.

Par exemple la déferrisation et la démanganisation biologiques sont réalisables dans des filtres où la vitesse de l'eau peut aller de 20 à 40 m/heure (pour la nitrification, des vitesses de 10 à 15 m/heure sont possibles).

Les paramètres critiques pour ces traitements sont notamment la température, le pH et le potentiel redox de l'eau.

Par exemple pour la nitrification complète, il faut respecter une température supérieure ou égale à 8°C et (surtout) un pH supérieur ou égal à 7,3.

La concentration de l'élément à éliminer joue aussi un rôle important, notamment pour les ions ammonium : 4,5 mg d'oxygène sont nécessaires pour 1 mg d'ions ammonium, sinon des nitrites se forment, entraînant un risque de production de composés organiques nitrosés.

Ces traitements sont donc très sensibles aux variations brusques de la qualité de l'eau à traiter, plus particulièrement les concentrations des éléments à éliminer.

La filtration lente a toutefois pu être adaptée à des cas particuliers :

- **les eaux à forte turbidité** : il est possible de traiter des eaux brutes dont la turbidité peut atteindre 50 NFU (sans jamais les dépasser), par un système mixte physico-chimique et filtration biologique. Le prétraitement de dégrossissage et de pré filtration est remplacé par une étape de bio coagulation de contact qui comprend l'ajout d'une très faible dose de coagulant (2 à 5 ppm de chlorure ferrique), une filtration à 10-15 m/heure sur un matériau constitué de biolite (argile cuite concassée de taille effective 2,3 mm), suivi d'une seconde filtration sur sable (de taille effective 0,9-1 mm) à la vitesse de 5 à 8 m/heure. Cette étape de pré traitement doit aboutir à une turbidité de l'eau < 4 NFU en permanence. La filtration lente qui suit conduira alors à une eau dont la turbidité sera toujours < 0,2 NFU. Comme la dose de coagulant ajoutée ne varie quasiment pas, ce traitement sera aussi considéré comme passif.
- **les eaux influencées par des eaux de surface** dont la turbidité ne dépasse pas 3 NFU : la filtration lente souterraine horizontale était agréée en France dès 1929. Le fonctionnement est comparable à celui des nappes alluviales lorsqu'elles sont alimentées par la rivière. Cette technique utilise le passage à l'horizontal au travers de matériaux granulaires (de granulométrie différente TE de 7 à 8 mm, 3 à 5 mm et 1 à 1,5 mm). La distance de filtration horizontale est de 12 m (soit 7 m + 3 m + 2 m). La vitesse de filtration horizontale est dans ce cas de 0,5m<sup>3</sup> /m<sup>2</sup>/heure soit 12 m/heure.

La filtration étant horizontale, il s'agit d'un système tangentiel : les particules se déposent sur les matériaux granulaires et s'accumulent en fond de filtre, le colmatage est donc très lent.

Les principaux avantages de ce type de prétraitement sont :

- les filtres ne nécessitent aucun lavage pendant 15 à 20 ans
- les eaux ne sont pas en contact avec l'atmosphère et les risques de prolifération d'algues ou de larves de moustiques (pour les DOM ou TOM) sont maîtrisés
- cette technique est tout à fait adaptée à de petites installations (moins de 2000 habitants soit 200 à 400 m<sup>3</sup>/jour)

Les principaux inconvénients de ce type de filtration horizontale sont :

- les vitesses de filtration sont faibles, le dispositif nécessite des surfaces très importantes dès que l'on veut obtenir des débits traités importants (environ 20 fois plus que les traitements physico-chimiques classiques)
- la turbidité de l'eau brute ne doit pas dépasser 3 NFU

## 5. Choix des types de clarification en fonction de la turbidité des eaux brutes

Le tableau 13. suivant donne, en fonction des systèmes de clarification, les turbidités minimales et maximales pouvant être traitées. La filtration finale se fait sur 1 mètre de matériau (sable) de taille effective TE 0,9-1 mm et de coefficient d'uniformité CU 1,4-1,5, à la vitesse de 5 m/ heure pour la filtration rapide, le cas échéant.

TYPE DE TRAITEMENT DE CLARIFICATION. COAGULATION ET FLOCCULATION OPTIMISÉE POUR LES SYSTÈMES LES UTILISANT	TURBIDITÉ MINIMALE ACCEPTABLE	TURBIDITÉ MINIMALE UTILISABLE	TURBIDITÉ NORMALEMENT OBTENUE
Coagulation sur filtre	< 0,3	10	0,3
Coagulation – floculation – décantation classique	2 - 3	1000 à 2000 (2g/L MES)	0,2 – 0,3
Coagulation – floculation – décantation classique : lamellaire	2 - 3	500 à 1000 (1g/L MES)	0,15 – 0,2
Coagulation – floculation – décantation : lit pulsé	< 0,3	1000 à 2000 (2g/L MES)	0,2 – 0,25
Coagulation – floculation – décantation : lit pulsé ; lamellaire	< 0,3	500 à 1000 (1g/L MES)	0,15 – 0,2
Coagulation – floculation – décantation : lit remis en suspension mécaniquement	< 0,3	1000 à 2000 (2g/L MES)	0,15 – 0,2
Coagulation – floculation – décantation : lit remis en suspension mécaniquement ; lamellaire	< 0,3	1000 à 2000 (2g/L MES)	0,15 – 0,2
Coagulation – floculation – décantation : floc lesté	< 0,3	1000 à 2000 (2g/L MES)	0,15 – 0,2
Coagulation – floculation – décantation : floc lesté	< 0,3	1000 à 2000 (2g/L MES)	0,15 – 0,2
Coagulation – floculation – flottation	< 0,3	60	0,15 – 0,2
Ultra filtration frontale	< 0,3	50	0,15 – 0,2
Ultra filtration tangentielle	< 0,3	100	0,15 – 0,2
Filtration lente classique	< 0,3	10 - 15	0,15 – 0,2
Coagulation de contact - Filtration lente	< 0,3	50 - 60	0,15 – 0,2
Filtration lente souterraine horizontale	< 0,3	3	0,15 – 0,2

## 6. Éléments éliminés par ces traitements de base

### a. Microbiologie

Dans le tableau 14. les abattements seront donnés en log, [1 log = nombre divisé par 10, 2 log = nombre divisé par 100 et ainsi de suite].

ÉTAPE DE TRAITEMENT	TURBIDITÉ DE L'EAU TRAITÉE	ABATTEMENT DES BACTÉRIES	ABATTEMENT DES ENTÉRO VIRUS	ABATTEMENT DES PARASITES : CRYPTOSPORIDIUM ET/OU GIARDIA
Coagulation sur filtre	< 0,3	1 log	2 logs	3 logs
Coagulation – floculation – décantation – filtration	< 0,2	2 logs	2 à 3 logs	3 à 4 logs
Coagulation – floculation – flottation – filtration	< 0,2	2 logs	2 à 3 logs	4 à 5 logs
Ultra filtration	< 0,2	4 logs	4 à 5 logs	> 5 logs
Filtration biologique lente	< 0,2	3 logs	2 à 3 logs	4 à 5 logs

### b. Micropolluants minéraux

Le tableau 15. ci-après classe les éléments minéraux en 3 catégories :

- les éléments non critiques au niveau toxicité pour l'homme
- les éléments toxiques mais très peu solubles
- les éléments toxiques et solubles dans l'eau

ÉLÉMENTS NON CRITIQUES			ÉLÉMENTS TOXIQUES	
Cations	Anions	Gaz dissous	Éléments toxiques mais très peu solubles	Éléments toxiques et solubles
Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	O <sub>2</sub>	Ti Ga	F Ra Pb
K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N <sub>2</sub>	Hf La	Be Ag B
Ca <sup>++</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>2</sub>	Zr Os	Co Cd Ba
Mg <sup>++</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>		W Rh	Ni Pt Rn
H <sup>+</sup>	HSiO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		Nb Ir	Cu Au NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
Sr <sup>++</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>		Ta Re	Zn Hg ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ClO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
Fe <sup>++</sup>				Sn Tl BrO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Mn <sup>++</sup>				As Pb
Al <sup>++</sup>				Se Sb
				Te Bi



**Traitements mettant en œuvre la coagulation floculation chimique :**

- par **coprécipitation**, à pH aux environs de 7,3 – 7,5, seront éliminés les éléments non complexés sous formes : hydroxydes, carbonates, hydroxy-carbonates et oxydes suivantes : Chrome trivalent, fer trivalent, manganèse tri et tétravalent, plomb, cuivre, zinc, aluminium, mercure, cadmium.

→ **FOCUS** sur les pH pour lesquels les éléments minéraux peuvent être coprécipités sous une forme donnée lors de la clarification physico-chimique des eaux (tableau 16.).

H = Forme hydroxyde

C = Forme carbonate

HC = Forme hydroxycarbonate

ÉLÉMENT	FORME COPRÉCIPITABLE	PH OPTIMAL
Zn <sub>II</sub> = Zinc	H	9,5
	HC	7,5
Ni <sub>II</sub> = Nickel	H	9,5
Cd <sub>II</sub> = Cadmium	H	10
	HC	8
Pb <sub>II</sub> = Plomb	H	9
	C	9
	HC	7,5
Cu <sub>II</sub> = Cuivre	H	9
	HC	7,5
Mn <sub>II</sub> = Manganèse	H	9
Cr <sub>III</sub> = Chrome <sup>24</sup>	C	7,5
Co <sub>II</sub> = Cobalt	H	9,5
Hg <sub>II</sub> = Mercure	HC	8

- **par réaction**, avec le coagulant à pH aux environs de 7,3 – 7,5 (surtout avec les sels de fer, un peu moins avec les sels d'aluminium et très peu avec les sels d'aluminium pré-neutralisés) seront éliminés les éléments suivants : phosphates, arsenic à la valence 5, antimoine à la valence 5, sélénium à la valence 4, vanadium à la valence 5.
- **par oxydation biologique** dans les filtres rapides, aux bonnes conditions de pH et de teneur en oxygène dissous, seront éliminés ou bio transformés les éléments suivants : ammonium, nitrites, fer ferreux, manganèse divalent

**Traitements mettant en œuvre la filtration membranaire (Ultra filtration)**

Ces traitements n'ont aucun effet sur les éléments en solution dans l'eau.

**Traitements de clarification biologique (filtration lente)**

La rétention par **piégeage** au niveau des biofilms (avec les colloïdes) des composés présents sous forme d'oxydes, hydroxydes, carbonates et hydroxycarbonates est possible mais moins importante que pour les traitements de clarification chimique avec les sels de fer.

<sup>24</sup> Le chrome hexavalent : (Chromates, bichromates) ne sera éliminé que s'il est réduit par du fer ferreux en chrome trivalent

En revanche, les éléments qui ne sont éliminables qu'après réaction avec les sels de fer ou d'aluminium, ne sont pas éliminés par une clarification biologique : arsenic, phosphate, sélénium, antimoine, vanadium...

Les éléments bio oxydables (fer, manganèse) ou bio transformés (ammonium, nitrites, carbone organique assimilable, CODB) sont bien éliminés.

### c. Micropolluants organiques

#### **Traitements de clarification physico-chimique**

Seules les molécules les plus hydrophobes peuvent s'adsorber sur les MES de l'eau brute et les floccs formés. Il faut que le log du coefficient de partage Octanol / Eau de ces molécules soit > 3,5.

#### **Traitement de clarification physique par ultra filtration**

Ces traitements n'ont aucun effet sur les éléments en solution dans l'eau.

#### **Traitements de clarification biologique : filtration lente**

Seules les molécules les plus hydrophobes peuvent s'adsorber sur les MES de l'eau brute et les bio films formés en surface ou dans les filtres. Il faut que le log du coefficient de partage Octanol / Eau de ces molécules soit > 3,5.

## 7. Traitements de désinfection

La désinfection de l'eau n'est obtenue que par la complémentarité de deux étapes tout à fait indispensables : La clarification et la désinfection finale. Elles constituent les approches multi-barrières préconisées par l'OMS dès 1992.

Elle se compose d'abord d'un traitement de rétention (barrière physique) puis d'un traitement destructif.

Pour les eaux souterraines, le sol constitue généralement la première étape "barrière de rétention", sauf bien sûr pour les eaux souterraines influencées par des eaux de surface.

- **si l'eau souterraine est naturellement protégée sans germes témoins de contamination fécale, une simple étape de désinfection de sécurité permettant un effet bactériostatique dans le réseau de distribution sera à appliquer. Les contraintes de garantie de traitement seront plus faibles**
- **si l'eau souterraine contient des germes témoins de contamination fécale, une étape de désinfection, dont on devra garantir l'efficacité, sera à mettre en place**
- **si ces dernières eaux ont en outre une turbidité > 1 NFU, alors un traitement de clarification préalable sera à mettre en œuvre**

Dans tous les autres cas : eaux souterraines influencées par des eaux de surface, quelle que soit la turbidité de l'eau (eaux de lacs, barrages réservoir ou de rivières), il sera impératif d'avoir une étape de clarification permettant de garantir, en tout temps, une turbidité < ou = à 0,5 NFU suivie d'une désinfection dont l'efficacité sera à garantir.

→ En outre, un point essentiel : "On ne désinfecte que ce qui est propre."

## 8. Efficacité des traitements de désinfection

L'efficacité de la désinfection finale dépend :

- de la concentration en microorganismes à détruire. L'éventuelle clarification préalable a pour but de réduire le nombre de ces microorganismes
- de la forme sous laquelle se trouvent les micro-organismes : libres non protégés, naturellement protégés (spores, kystes, oocystes), libres mais protégés (agglutinés ; piégés dans des colloïdes, adsorbés sur des fines de charbon actif...). Les traitements chimiques de désinfection sont très actifs sur les microorganismes naturellement protégés ou protégés par d'autres composés présents dans l'eau. Les traitements de clarification sont d'autant plus efficaces que les microorganismes sont protégés car de taille plus importante.

- du mode de désinfection utilisé : physique ou chimique. Les kystes ou oocytes sont sensibles aux rayonnements UV tandis que certains virus sont très résistants
- de la dose de désinfectant, elle correspond :
  - pour les produits chimiques, à la concentration en réactif après un temps de contact réel.  $CT = \text{concentration en mg/l} \times \text{Temps en minutes}$
  - pour les rayonnements UV, à une énergie d'irradiation après un temps de contact donné ( $J/m^2$ )
  - pour l'ébullition de l'eau, le temps de contact réel dans une eau à 100°C
- des caractéristiques physico-chimiques de l'eau : pH, température, turbidité, teneur en ions ammonium, fer, manganèse, matières organiques

## 9. Procédés Thermiques

Ce n'est pas une étape utilisable pour la production d'eau destinée à la consommation humaine. Cependant, en cas de contamination micro biologique de l'eau, cette consigne peut-être diffusée aux consommateurs (après avis de l'ARS).

Il faut respecter une durée de 6 minutes dans une eau à 100°C pour considérer le caractère "désinfectant". Comme en réalité on ne peut calculer le temps qu'à partir de l'ébullition à gros bouillon, ce temps sera ramené à 10 – 12 minutes. Cela permet l'obtention d'une eau bien désinfectée. Seule la législation Belge a pris en compte ce mode de désinfection en cas de crise et prescrit 15 minutes à ébullition à gros bouillon.

## 10. Irradiation UV à 260 nm

Pour ces traitements, on utilise :

- soit des lampes à vapeur de mercure basse pression où la quasi-totalité du rayonnement (Plus de 85% de l'énergie émise) correspond à la raie de résonance du mercure : 253,7 nm
- soit des lampes à vapeur de mercure moyenne pression. Ces lampes émettent tout le spectre de rayonnement du mercure. Afin d'éviter les réactions secondaires de photolyse sur les micropolluants organiques ou les ions nitrates, des gaines de quartz entourent la lampe pour couper toutes les longueurs d'onde < 230 nm.

→ La dose d'irradiation pour les lampe basse pression et la dose de réduction équivalente pour les lampes moyenne pression doivent impérativement être de 400 j/ m<sup>2</sup>.

Ces doses ne peuvent être garanties de façon permanente que si les gaines de quartz sont "propres", exemptes de dépôts. Ces dépôts sont dus soit :

- à la présence de fer dissous qui est oxydé catalytiquement par les rayonnements UV. La teneur en fer de l'eau à traiter ne devra pas dépasser 0,05 mg/L
- à la présence de manganèse dissous qui est oxydé catalytiquement par les rayonnements UV. La teneur en manganèse de l'eau à traiter ne devra pas dépasser 0,02 mg/L
- l'eau devra être légèrement agressive, (non entartrante) car, pour avoir l'émission optimale des rayonnements, la température de l'air entre la lampe et la gaine de quartz doit être de 40°C environ. Au contact de la gaine, la température de l'eau est plus élevée, il peut donc y avoir un risque d'entartrage.

Il sera donc indispensable d'effectuer des lavages réguliers de la surface de la gaine de quartz.

Comme la turbidité de l'eau absorbe les rayonnements UV, celle-ci doit être < 0,5 NFU en amont des lampes. Si cette turbidité est obtenue par une étape de clarification préalable, les parasites Giardia et Cryptosporidium sont déjà éliminés. Cette étape de clarification se justifie notamment pour des eaux souterraines influencées par des eaux de surface.

Cependant lorsque les eaux brutes présenteront naturellement une turbidité inférieure à 0,5 NFU, la clarification pourra être évitée. La chloration qui suivra ne sera qu'une chloration de sécurité pour assurer un effet bactériostatique dans le réseau de distribution.

Comme l'eau absorbe aussi les rayonnements UV, l'épaisseur de la couche d'eau à irradier doit être bien maîtrisée et connue. C'est la raison pour laquelle l'agrément indispensable des traitements par irradiation UV ne porte pas sur la lampe seule, mais sur la totalité du réacteur.

→ Comme les matières organiques absorbent aussi les rayonnements UV, la transmittance de l'eau doit être < 80%. (en cuve de 1cm mesurée à 253,7 nm).

Les points forts de ces traitements sont :

- l'absence de réactif chimique ajouté à l'eau
- ces technologies sont faciles à utiliser et ne nécessitent pas de compétence particulière
- les installations sont faciles à surveiller
- ces traitements sont efficaces vis-à-vis des parasites *Giardia* et *Cryptosporidium*
- si une eau souterraine influencée par des eaux de surface a pendant une période de l'année une turbidité < 0,5 NFU, la mise en œuvre de la clarification ne se justifie pas, par contre ce traitement sera suivi d'une désinfection de sécurité...

Les points faibles de ces traitements sont :

- il n'y a aucun effet rémanent
- certains virus ne sont pas inactivés, notamment : adénovirus et norovirus
- les lampes coûtent cher, il n'est pas facile de connaître l'énergie d'irradiation même si la lampe est "allumée". Il est donc tentant de garder les lampes bien au-delà de leur durée d'utilisation optimale préconisée par le fournisseur. Normalement ces lampes sont garanties par le constructeur pour 7000 et 10000 heures de fonctionnement pour les lampes à basse pression et de 8000 à 12000 heures pour les lampes à moyenne pression. Mais il ne faut pas oublier qu'à chaque arrêt et, chaque redémarrage, la lampe "vieillit" de 1 heure environ
- comme déjà signalé, il faut un entretien régulier de ces lampes, notamment par nettoyage des gaines de quartz
- la qualité des eaux brutes à respecter est plus contraignante que celle des eaux destinées à la consommation humaine pour les paramètres manganèse et matières organique : carbone organique dissous (COD).
- si les doses d'UV reçues par les microorganismes ne sont pas suffisantes, elles conduisent à des microorganismes stressés. Les lésions se font dans l'ADN au niveau des liaisons thimine - thimine, thimine - alanine ou thimine - cytosine. Celles-ci peuvent s'auto réparer, soit par utilisation de rayonnements < 320 nm, soit par voie enzymatique. Les micro-organismes sont donc actifs dans l'eau.
- pour parfaire l'émission des rayonnements, les lampes doivent suffisamment chauffer pour que l'air compris entre la lampe et la gaine de quartz soit aux environs de 40°C. Suivant la température de l'eau, il faudra donc attendre entre 15 et 20 minutes pour obtenir une désinfection satisfaisante (la lampe "préchauffe"). C'est pour cette raison que l'utilisation des lampes à domicile n'est plus autorisée par le ministère de la santé.

Le tableau 17. suivant donne les doses d'irradiation en J/m<sup>2</sup> à appliquer sur des microorganismes pour avoir un abattement de 4 logs. (Division par un facteur 10 000)

TYPES DE MICRO-ORGANISMES	MICRO-ORGANISMES	DOSES D'IRRADIATION
Bactéries	<i>E.coli</i>	240
	Entérocoque intestinal	240
	Bactéries anaérobies revivifiables (spores)	500
	<i>Salmonella typhi</i>	300
	<i>Legionella pneumophila</i>	120

Virus	<i>Echovirus I</i>	330
	<i>Echovirus II</i>	270
	<i>Coxsackivirus B3</i>	390
	<i>Coxsackivirus B5</i>	360
	<i>Polio virus</i>	300
	<i>Adénovirus</i>	1 860
	<i>Rotavirus</i>	560
	<i>Virus de l'hépatite A</i>	390
	(*) <i>MS2</i>	800
Parasites	<i>Cryptosporidium et Giardia</i>	300
	<i>Acanthamoeba (amibes)</i>	1 000

(\*) MS2 est le virus d'E.coli (Coliphage), l'Union Européenne a demandé à l'OMS Europe de faire des recherches sur la pertinence de prendre MS2 comme indicateur d'élimination des virus des eaux destinées à la consommation humaine.

### → Points critiques pour la désinfection par rayonnements UV :

La qualité de l'eau :

- turbidité < 0,5 NFU
- la teneur en fer dissous : < 0,05 mg/L
- la teneur en manganèse : < 0,02 mg/L
- la teneur en matières organiques : transmittance > 80%

L'état du réacteur UV :

- entretien du réacteur : gaine de quartz
- âge de la lampe
- intensité de la lampe
- intensité d'irradiation
- temps d'attente au démarrage : entre 10 à 20 minutes suivant la température de l'eau

## 11. Désinfection chimique

Pour une désinfection chimique, les réactifs utilisables sont :

- le chlore : chlore gazeux, hypochlorite de sodium (eau de Javel), hypochlorite de calcium, ou solution d'hypochlorite obtenue par électrolyse d'une solution de chlorure de sodium. Ces différents produits peuvent poser problème :
  - le chlore gazeux n'est pas toujours disponible notamment dans les DOM ou TOM. S'il n'est pas produit sur place, son transport par mer n'est quasiment pas possible, il est interdit par voie aérienne
  - les solutions d'hypochlorite de sodium se dégradent très rapidement dès que la température dépasse 30°C, ce qui est le cas dans la plupart des DOM et TOM, il n'est donc pas utilisable. Le réactif perd 1% par jour de stockage

- l'hypochlorite de calcium (vendu sous le nom de HTH) est en poudre et se conserve très bien. Il perd 1 à 2% par année de stockage, à l'abri de l'humidité. Ce réactif est très adapté au traitement des eaux peu minéralisées. Avec les eaux bicarbonatées calciques il y a précipitation du carbonate de calcium et augmentation de la turbidité de l'eau. Le transport par voie aérienne est interdit, par voie maritime il faut que le fournisseur prenne des assurances adaptées.
- l'électro-chloration ne nécessite que le stockage de chlorure de sodium de qualité eau potable, c'est à dire la même qualité requise pour la régénération des adoucisseurs d'eau ou les traitements d'électro-chloration en piscine. Il est donc facilement disponible et permet la production, à la demande, de solutions à 3 ou 10 g/L de chlore pour le traitement. Les DOM et TOM commencent de plus en plus à l'utiliser, les systèmes de production sont aujourd'hui fonctionnels et les pièces à remplacer périodiquement sont aisées à trouver, il suffit de les approvisionner et les stocker.

Il existe des systèmes hydrauliques permettant l'introduction de la solution chlorée dans l'eau à traiter sans fourniture d'énergie.

- le bioxyde de chlore. Ce réactif est à préparer sur place :
  - soit à partir de chlore gazeux et de chlorite de sodium
  - soit à partir de chlorite de sodium et d'un acide : acide chlorhydrique ou sulfurique. La synthèse est délicate et ce réactif ne paraît pas adapté aux petites unités alimentant des petites collectivités. De plus, comme les réactions secondaires du chlore sur le bioxyde de chlore ou les chlorites ne sont pas contrôlables, si l'eau est traitée dès la chaîne de traitement au bioxyde, toutes les rechlorations dans le réseau devront se faire au bioxyde de chlore.
- l'ozone. Ce réactif est aussi à préparer sur place. La production est complexe, l'ozone n'a pas d'effet rémanent, il ne paraît donc pas adapté aux petites entités de traitement.

Concernant les DOM ou TOM, dans les zones tropicales ou équatoriales, la production d'ozone nécessite un air asséché avec un point de rosée < -50°C, ce qui est impossible à obtenir. Il faudrait le synthétiser à partir d'oxygène liquide mais, sauf s'il est produit sur place, l'approvisionnement depuis la métropole ou un autre pays est assez problématique.

## a. Le chlore

Seuls les traitements de chloration seront abordés.

Quel que soit le produit chloré utilisé : chlore gazeux, solutions d'hypochlorites de calcium ou de sodium, une fois introduit dans l'eau, le chlore donnera en équilibre et en fonction du pH, de l'acide hypochloreux et des ions hypochlorites.

L'acide hypochloreux est un acide faible dont le pKa à 20°C est de 7,4.

À pH < 7,4 l'acide hypochloreux sera l'espèce prépondérante, à pH > 7,4 les ions hypochlorites seront prépondérants.

→ **L'acide hypochloreux est 100 fois plus biocide que les ions hypochlorites c'est la raison pour laquelle la désinfection au chlore ne doit être faite que sur des eaux dont le pH est < 8,1.**

Comme le pH d'équilibre calco-carbonique est d'autant plus élevé que l'eau est peu minéralisée, les eaux peu minéralisées doivent être reminéralisées jusqu'à obtenir un TH et un TAC d'au moins 8°fr chacun. Le pH d'équilibre est alors de 8- 8,1 (cette exigence provient notamment du risque de corrosion du plomb).

En présence d'ions ammonium, le chlore donne des chloramines (chlore combiné) dont le pouvoir biocide est 1000 fois inférieur à celui de l'acide hypochloreux. Les ions ammonium devront donc avoir été totalement retirés pour avoir une désinfection efficace. Les ions ammonium peuvent être oxydés en azote par le chlore, mais il faut 7 mg de chlore par mg de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

Bien souvent le goût de chlore dans l'eau, ressenti par le consommateur, n'est pas dû au chlore mais aux chloramines minérales voire organiques par réaction du chlore avec des composés aminés.

→ **Pour s'assurer que l'eau n'aura pas un goût de chlore inacceptable pour les consommateurs, le rapport  $Cl_2$  libre/ $Cl_2$  total > 0,8.**

Les ions nitrites sont des antichlores, il est impossible d'avoir du chlore et des ions nitrites ensemble. Ces ions devront être absents au moment de la désinfection, sinon il faut une dose de chlore supérieure pour, dans un premier temps oxyder les ions nitrites en ions nitrates, puis dans un second temps, désinfecter l'eau.

Il en est de même si l'eau contient des sulfures, du fer et du manganèse divalent.

### **Paramètres influençant l'efficacité au biocide du chlore**

- le nombre de micro-organismes à détruire : Plus le nombre de micro-organismes à détruire est important, plus la probabilité d'avoir des microorganismes stressés et non détruits augmente. La clarification de l'eau joue un rôle très important sur la réduction des micro-organismes (en amont de la désinfection).

C'est la raison pour laquelle lors des interventions en réseau, le rinçage "efficace" et préalable à la désinfection des canalisations, assure un meilleur rendement de la solution de désinfection injectée.

- le type de micro-organismes à détruire et leur niveau de protection : Les micro-organismes libres sont beaucoup plus vulnérables que les micro-organismes agglutinés (enrobés dans des colloïdes minéraux (Argiles) ou organiques (Acides humiques, matières organiques) ou adsorbés sur des MES ou fines de charbon actif). C'est la raison pour laquelle, dès 1994, l'OMS précisait que quelle que soit la concentration en chlore, si la turbidité de l'eau est > 1 NFU, la désinfection de l'eau ne peut pas être garantie.

Certains micro-organismes sont naturellement protégés : les spores, les kystes, les oocystes. La clarification de l'eau élimine préférentiellement ces formes protégées d'où la complémentarité : clarification – désinfection au chlore.

- la température de l'eau joue un rôle important. À basse température, d'une part l'eau est plus visqueuse, d'autre part les micro-organismes ont tendance à s'agglutiner et à s'auto protéger. Dans ce cas, le CT doit être augmenté
- le pH de l'eau doit être < 8,1
- la turbidité de l'eau, la limite fixée par l'OMS est de 1 NFU

### **Le dosage du chlore**

La présence dans l'eau de certains éléments peut perturber la désinfection. La dose de chlore joue un rôle primordial.

→ **FOCUS** sur la notion de dose de chlore (CT) :

La dose de chlore est le produit de la concentration en chlore multiplié par le temps de contact réel. (CT)

C'est la notion de CT. C correspond à la concentration en chlore libre (C en mg/L de  $Cl_2$ ) mesurée après un temps (T) de contact exprimé en minutes.

Il est très important de connaître le temps de transit de l'eau dans les bâches de chloration. Cela s'obtient par le traçage hydraulique des bâches. En réalité, lors de ces traçages, il sera mesuré une durée  $T_{10}$  qui correspond au temps nécessaire pour récupérer 10% de la totalité du traceur ajouté. Il est maintenant admis que  $CT_{10}$  est une bonne approche du CT (défini ci-dessus). Dans la suite du document, lorsqu'il sera fait référence au temps de contact, il s'agira en réalité du  $T_{10}$ .

En toute rigueur, il faudrait disposer d'un réacteur purement "piston", obtenu partiellement en créant des chicanes dans les bâches de chloration : le chlore est injecté en amont, la zone de turbulence créée par les chicanes, permet d'avoir une dilution homogène.

Pour que le bache de chloration se rapproche d'un réacteur piston, il faut que la longueur du canal (longueur suivant laquelle s'effectue l'écoulement de la bache entre l'amont et l'aval) ainsi formé divisé par la largeur du canal soit de l'ordre de 50 :  $L/l = 50$ .

Dans ce type de bache chicanée le rapport  $T_{10}/T_{\text{moyen}}$  (Volume de la bache/débit de l'eau)  $\geq 0,7$ . Dans une bache non cloisonnée, ce rapport varie entre 0,1 et 0,2.

→ Pour une désinfection efficace il faut un CT de 15, c'est à dire **0,5 mg/L de Cl<sub>2</sub> après 30 minutes de contact réel**. 0,3 mg/L de chlore après 45 minutes de contact est aussi acceptable (c'est la valeur consigne le plus souvent pratiquée).

Pour une désinfection de sécurité permettant juste d'obtenir un effet bactériostatique, il faut atteindre un CT de 9 : 0,3 mg/L après 30 minutes de contact réel.

## b. Problèmes induits par le chlore

- avec les ions ammonium et les dérivés aminés, le chlore donne des chloramines très peu biocides mais très sapides
- avec les dérivés phénolés, le chlore donne des chlorophénols, très sapides
- avec les matières organiques de l'eau, le chlore donne des composés organochlorés : trihalométhane (THM), dérivés halogénés de l'acide acétique, de l'acétonitrile...

Le tableau 18. suivant donne les CT nécessaires pour un abaissement de 4 logs des bactéries et des virus, 3 logs pour *Giardia* et les amibes et 2 logs pour *Cryptosporidium*, avec un pH < 8, et une Turbidité < 0,5 NFU.

MICRO-ORGANISMES	ENTÉRO-BACTÉRIES		ENTÉRO-VIRUS		GIARDIA		AMIBES		CRYPTOSPRIDIUM	
	T=10°	T=20°	T=10°	T=20°	T=10°	T=20°	T=10°	T=20°	T=10°	T=20°
Température										
CT <sub>10</sub>	12	9	15	15	150	50	500	350	> 1000	> 1000

## c. Points critiques à surveiller pour la désinfection au chlore

→ La qualité de l'eau :

- turbidité : < 0,5 si eau clarifiée, < 1 NFU si eau souterraine bien filtrée par le sol
- pH : < 8 – 8,1 pendant l'étape de chloration puis pH d'équilibre lors de la mise en distribution
- ammonium < 0,1 mg/L, sinon traitement final d'oxydation par le chlore
- nitrites : < 0,1 mg/L

Le traitement au chlore

- résiduel de chlore libre après un temps de contact réel (T10) de 30 ou 45 minutes : CT<sub>10</sub> entre 12 et 15
- rapport Cl<sub>2</sub> libre/ Cl<sub>2</sub> total > 0,8.



## 12. Effet bactériostatique

L'effet bactériostatique a pour but de limiter les post proliférations bactériennes dans le réseau de distribution, en aucun cas d'avoir un effet de désinfection pour des contaminations pouvant se retrouver ensuite dans le réseau de distribution.

Cela concerne donc les chlorations effectuées en réseau.

Il faut rappeler que parmi tous les réactifs ou procédés utilisables pour la désinfection de l'eau, seuls le chlore et le bioxyde de chlore sont utilisables.

→ Pour le chlore, il faut une concentration en chlore libre de 0,3 à 0,1 mg/L Cl<sub>2</sub> dans le réseau de distribution

### a. L'effet bactériostatique du chlore

Cet effet bactériostatique dépend :

- de la concentration en chlore à l'entrée du réseau ou après chaque rechloration
- de la température de l'eau. A basse température (<6°C) celle-ci joue ce rôle bactériostatique, à température élevée (>15°C) les risques de post prolifération bactérienne sont importants
- la qualité de l'eau et notamment la teneur en ions ammonium ou composés aminés, la concentration en carbone organique biodégradable (CODB)
- la demande en chlore de l'eau
- le potentiel de post précipitation de certains éléments dans l'eau : aluminium, fer, manganèse, eau calcifiante, eau agressive
- la propreté du réseau (présence de boues)
- le temps de séjour de l'eau dans le réseau, la vitesse de l'eau
- le degré de maillage du réseau

La stabilité d'une eau dans le réseau de distribution ne peut être obtenue que par une surveillance voire un ajustement du taux de chlore en effet :

- les eaux qui ont un potentiel de post prolifération bactérienne important sont riches en CODB. Ces matières organiques donnent avec le chlore des dérivés organochlorés
- les bio films s'auto protègent du chlore et un mois après avoir remonté le taux de chlore, le nombre de bactéries atteint sa valeur antérieure
- les fortes doses de chlore induisent un pouvoir corrosif à l'eau, donc la production de boues qui réduisent la quantité chlore

#### → CE QU'IL FAUT FAIRE :

- Améliorer le traitement de l'eau (en surveillant le chlore résiduel)
- Améliorer la maintenance du réseau de distribution
- Éviter les zones de stagnation

## **b. Points critiques à surveiller pour un effet bactériostatique**

→ L'eau, notamment :

- le teneur en chlore résiduel à l'arrivée dans le réseau de distribution
- la température
- la teneur en résiduels de fer, aluminium, manganèse
- le pouvoir agressif ou corrosif
- le pouvoir entartrant
- la teneur en matières organiques biodégradables : CODB
- les teneurs en nutriments : ammonium, nitrites, phosphates

Le réseau, notamment :

- la longueur du réseau
- les matériaux constitutifs de réseau
- le temps de séjour de l'eau
- la vitesse de l'eau
- la stagnation de l'eau
- le degré d'encrassement du réseau : présence de boues

## VII. Élimination des micropolluants minéraux et organiques

### 1. Micropolluants minéraux

#### a. Micropolluants minéraux naturellement présents dans les eaux

Les éléments minéraux naturellement présents dans les eaux sont :

- d'une part des éléments non directement toxiques (une référence de qualité a été fixée) mais qui indirectement peuvent induire la dégradation de la qualité de l'eau soit en interférant sur les traitements de désinfection, soit en induisant une dégradation de la qualité de l'eau lors de sa distribution. C'est le cas du fer et du manganèse, des ions ammonium
- d'autre part des éléments toxiques (une limite de qualité a été fixée) tels que le fluor, l'arsenic, le sélénium, l'antimoine ou des éléments radioactifs : uranium, radium, radon,...

#### b. Le fer et le manganèse

Le fer et le manganèse sont solubles dans les eaux lorsqu'ils sont à la valence II et insolubles à la valence III pour le fer et IV pour le manganèse. Si le fer peut être oxydé facilement par l'oxygène de l'air dans des conditions précises de pH et de teneur en oxygène dissous dans l'eau, il n'en est pas de même pour le manganèse où son oxydation par l'oxygène dissous dans l'eau ne peut se faire que si le pH de l'eau est  $> 9$ . Il faut donc utiliser des oxydants tels que le bioxyde de chlore, le permanganate de potassium ou l'ozone. Le chlore peut aussi oxyder le manganèse, mais la réaction est très lente et met environ 24 heures pour s'effectuer.

→ Cependant si la teneur en fer est supérieure à celle du manganèse, le fer catalysera l'oxydation du manganèse et son élimination s'effectuera en même temps que celle du fer.

Si la concentration en manganèse est supérieure à la concentration en fer, il sera nécessaire d'oxyder d'abord le manganèse (avant de traiter le fer).

Ces oxydations peuvent se faire soit par voie chimique, soit par voie biologique.

Risques directs induits par la présence de fer et/ou de manganèse dans les eaux distribuées :

- l'eau a un goût "métallique"
- l'eau est colorée, elle présente une teinte rouille, brune ou noire selon la concentration de ces éléments dans l'eau
- même en faibles concentrations, ces éléments peuvent colorer le linge lavé avec l'eau ou l'émail des éviers, lavabos, baignoires

Risques indirects induits par la présence de fer et/ou de manganèse dans les eaux distribuées :

- le fer ferreux et le manganèse divalents sont des réducteurs du chlore ou du bioxyde de chlore utilisés pour la désinfection des eaux
- le fer ferreux et le manganèse divalents sont oxydés par photolyse des rayonnements UV et se déposent sur les gaines de quartz des lampes, empêchant ainsi le passage des radiations UV. En traitement par lampe UV, les limites applicables à ces 2 éléments, sont inférieures à celle prévues par la réglementation : 0,05 mg/L pour le fer et 0,02 mg/l pour le manganèse.
- le fer et le manganèse peuvent reprécipiter dans le réseau de distribution et engendrer des boues dans les zones de stagnation ou les zones où la vitesse de l'eau diminue. Ces boues sont réductrices et donc favorables à des post-proliférations bactériennes.

- les bactéries du fer (ferrobactéries) peuvent se développer dans ces boues et induire des corrosions bactériennes des canalisations métalliques (fer, acier, fonte).

Normes pour le fer et le manganèse :

Le tableau **19**. suivant donne les références de qualité pour ces 2 éléments (valeur réglementaire), mais même à ces niveaux, les risques de dégradation de la qualité de l'eau ne sont pas maîtrisés. Il est donc ajouté des valeurs recommandées pour éviter de générer ces risques dans l'eau distribuée.

ÉLÉMENT	RÉFÉRENCE DE QUALITÉ	OBJECTIF À VISER POUR MAÎTRISER LES RISQUES	LIMITES DE QUALITÉ POUR UNE DÉSINFECTION PAR RAYONNEMENTS UV
Fer : mg/L	0,20	0,05	0,05
Manganèse : mg/L	0,05	0,02	0,02

Quelles eaux peuvent présenter une présence de fer ou Manganèse ?

- des eaux souterraines profondes dépourvues d'oxygène dissous. Pour le fer, la teneur en oxygène dissous est < 2mg/L O<sub>2</sub>, et pour le manganèse 4 mg/L O<sub>2</sub>.
- des eaux alluviales dont les alluvions contiennent d'une part des matériaux riches en fer et/ou en manganèse et d'autre part des matières organiques qui ont consommé l'oxygène dissous. Les teneurs en oxygène dissous sont < 2 mg/l pour le fer et 4 mg/L pour le manganèse.
- les eaux de fond des barrages réservoirs : lorsque le niveau impose un pompage en fond d'ouvrage. Ces eaux sont très riches en matières organiques, en fer, manganèse, ammonium voire nitrites. Leur traitement est très complexe car bien souvent le fer et le manganèse sont complexés. Il faudra donc une pré-ozonation (à la dose de 0,2 à 0,25 mg d'ozone par mg de COT), suivie d'une coagulation avancée (à pH 5 – 5,5 avec des sels de fer), puis remonter le pH à 7,5 après l'étape de séparation (décantation ou flottation), ajouter du permanganate de potassium et procéder à une filtration. Ce traitement ne sera pas abordé en détail car sa technicité n'est pas adaptée aux petites unités de production/distribution.

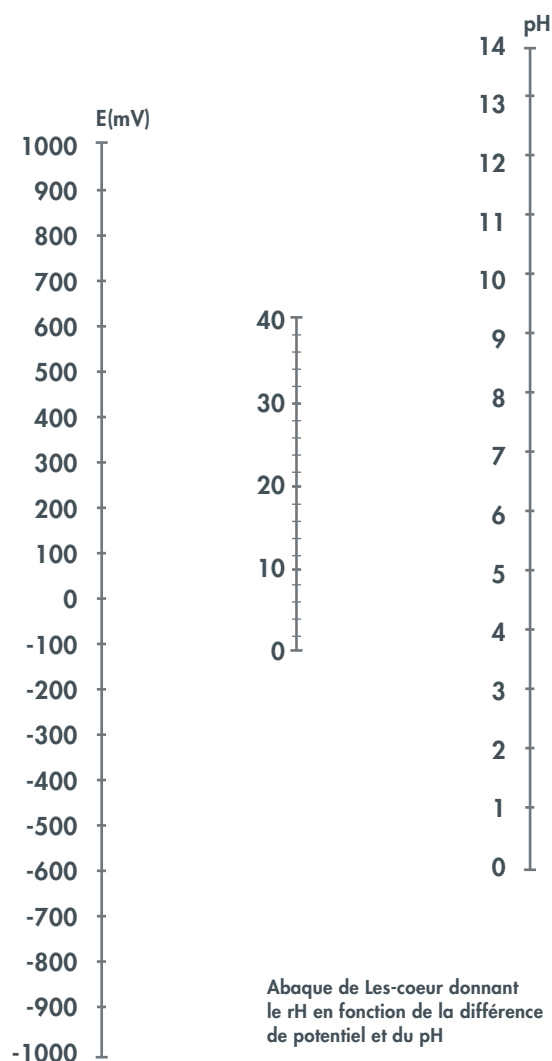
### b.1. Oxydation chimique du fer et du manganèse

Avant tout traitement, il est important de compléter sa connaissance de la qualité de l'eau.

- le pH joue un rôle très important sur la cinétique des réactions d'oxydation et sur les possibilités de traitements chimiques ou biologiques
- l'alcalinité et la dureté de l'eau : Plus la minéralisation de l'eau est faible, plus l'élimination du fer et du manganèse sera difficile. Pour les eaux peu minéralisées, il est important d'effectuer une reminéralisation partielle de l'eau, en tête de traitement, au niveau d'un TAC et un TH d'environ 5°fr. La teneur en COD peut y être importante et conduire à la complexation du fer et/ou du manganèse. Enfin, ce type d'eau ne permet pas d'effet tampon sur le pH, il est alors délicat de le maintenir constant.
- le potentiel redox de l'eau et indirectement la teneur en oxygène dissous
- pour les traitements biologiques abordés plus loin, le rH<sup>25</sup> de l'eau est un paramètre important à connaître. La figure suivante donne un abaque permettant d'obtenir le rH à partir du potentiel redox et du pH
- la couleur de l'eau, fournit une mesure indirecte de la teneur en matières organiques donc de son potentiel de complexation du fer
- la teneur en COT ou COD : mêmes remarques que pour la couleur
- la teneur en silice de l'eau : À une concentration > 15 mg/L, la silice se complexe au fer et/ou au manganèse. Ces complexes sont solubles, et ne peuvent être éliminés par voie chimique. Seule l'oxydation biologique peut, dans ce cas, donner de bons résultats. Comme la dissolution de la silice dans les eaux est un phénomène très lent, cette situation ne concernera que les eaux souterraines profondes. Cependant la détermination de la teneur en silice dans l'eau devra être effectuée pour toutes les eaux où un traitement d'oxydation chimique est prévu.

<sup>25</sup> Le rH d'une solution est le logarithme décimal changé de signe de la pression d'hydrogène gazeux en équilibre avec les ions H<sup>+</sup> présents dans la solution.

## DÉTERMINATION GRAPHIQUE DU rH



**Problèmes identifiés** sur des installations d'oxydation chimique qui ne fonctionnaient pas :

- complexation du fer et/ou du manganèse : dans la plupart des cas, la complexation était corrélée à de fortes teneurs en silice
- pH trop bas
- effets négatifs de la chloration : dans une installation de traitement par oxydation chimique dont le fonctionnement n'était pas optimum, du chlore avait été ajouté, le dysfonctionnement s'amplifiait : Le chlore gêne l'installation de phénomènes d'oxydation biologique
- problème de floculation du fer et /ou du manganèse : pour améliorer la séparation fer et/ou manganèse oxydés / eau, il est recommandé d'ajouter soit des sels de fer ferrique, soit des sels d'aluminium
- taille effective du sable trop importante
- temps d'oxydation trop faible. Ce temps est directement lié au pH de l'eau. Plus le pH est bas, plus la cinétique de réaction est faible

## Traitements d'oxydation du fer et/ou du manganèse

Une installation de déferrisation ou de démanganisation se décompose en :

- une première étape éventuelle de décomplexation, si ces éléments sont liés à des matières organiques (Acides humiques). En général, c'est l'ozone qui est utilisé à une dose de 0,2 à 0,25 mg d'ozone par mg de COT
- une étape d'oxydation (**injection d'un oxydant ET filtration**) : pour le manganèse le pH doit être > 9,5. Pour le fer, le pH joue également un rôle très important, il doit être > 7,2 en outre, plus il est élevé, plus la réaction d'oxydation sera rapide.
  - **l'oxygène** peut oxyder le fer
  - des oxydants forts peuvent également être utilisés : **le chlore** donne de bons résultats pour le fer par contre, la réaction ne se fait qu'en 24 heures et à pH 7,3 pour le manganèse. La réaction a donc lieu en aval, dans le réseau de distribution
  - **le bioxyde de chlore** : pour le manganèse il faut environ 3 fois la stœchiométrie de la réaction à pH 7,2 pour qu'elle s'effectue en 30 minutes, c'est à dire qu'il faut environ trois fois la dose nécessaire en bioxyde de chlore à pH 7,2. Attention, ce dispositif conduit à un excès de chlorites
  - **le permanganate de potassium** est un réactif très utilisé pour l'oxydation du manganèse. Cependant les concentrations dans l'eau brute ne doivent pas trop varier car un excès de permanganate conduit à une coloration violette de l'eau et à la présence de manganèse soluble
  - l'ozone est un bon réactif, peu sensible au pH de l'eau, cependant un excès d'ozone conduit à la formation de permanganate, donc à la remise en solution du manganèse

Comme le manganèse et le fer se trouvent sous des formes colloïdales ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$  ou  $\text{Mn}(\text{OH})_3$ ) avant de donner par oxydation, des oxydes et oxyhydroxydes, il est important de prévoir l'ajout de sel de fer ou de sel d'aluminium pour optimiser leur élimination. La présence de calcium et /ou de magnésium peut faciliter leur élimination, c'est la raison pour laquelle les eaux très peu minéralisées nécessitent une reminéralisation partielle avant l'élimination du fer et ou du manganèse.

→ Dès que la concentration en fer dépasse 10 mg /L, il est impératif de prévoir une étape de décantation avant la filtration.

Enfin, les particules de  $\text{MnO}_2$  sont très fines il faudra donc adapter la taille effective du matériau (TE = 0,8 – 0,9) constituant le média filtrant, notamment si le traitement ne porte que sur le manganèse.

Le tableau 20. suivant donne, pour le fer et les différents oxydants, les conditions de bon fonctionnement des installations.

OXYDANTS UTILISÉS	DOSES À PRÉVOIR PAR MG DE FER	CONDITIONS DE PH
Oxygène	0,14 mg	> 7,3
Chlore	0,6 mg	> 7
Bioxyde de chlore	1,25 mg	> 7
Permanganate de potassium	0,95 mg	> 7
Ozone	0,42 mg	> 6,5

Le tableau 21. suivant donne pour le manganèse et les différents oxydants, les conditions de bon fonctionnement des installations.

OXYDANTS UTILISÉS	DOSES À PRÉVOIR PAR MG DE MANGANÈSE	CONDITIONS DE PH
Oxygène		> 9,5
Chlore	1,30 mg	> 8
Bioxyde de chlore	2,5 mg	> 8 ou > 7,3 et Stœchiométrie x3
Permanganate de potassium	1,9 mg	> 7,3
Ozone	0,95 mg	> 6,5

### b.2. Oxydation biologique du fer et/ou du manganèse

La mise en évidence des possibilités d'oxydation biologique du fer s'est produite sur des eaux dont le pH était inférieur à 7,2, l'oxydation chimique du fer par l'oxygène de l'air y était très lente. Mais au bout de quelques jours, l'oxydation s'est accélérée, d'autant plus que la teneur en oxygène de l'eau était faible : de 1 à 2 mg/L d'O<sub>2</sub>. Les observations au microscope des biofilms déposés sur les grains de sable (de la filtration) ont mis en évidence la présence de bactéries pédonculées ou filamenteuses :

- pédonculées : *Gallionella ferruginea*
- filamenteuses : *Leptothrix et crenothrix*

Comme pour la plupart des traitements biologiques, les basses températures inhibent ces réactions (8°C), ces traitements sont donc réservés aux eaux souterraines en métropole, ils sont aussi applicables à des eaux de fond de barrage réservoir dans les zones tropicales ou équatoriales.

Ces bactéries peuvent aussi oxyder le manganèse divalent, tant pour le fer que le manganèse, il s'agit d'oxydations enzymatiques intracellulaires : les bactéries utilisent l'énergie d'oxydation de ces éléments, comme source d'énergie pour se développer et se reproduire.

Mais comme pour les oxydations chimiques, le pH et la teneur en oxygène dissous (potentiel redox) ont un rôle primordial. Le rH relie ces 2 paramètres.

Les conditions au traitement biologique de ces deux éléments sont donc :

- - Pour le fer : pH > 7,2 sinon il y a concurrence avec l'oxydation chimique, teneur en oxygène de l'eau de l'ordre de 2 mg/L O<sub>2</sub>, rH > 14
- Pour le manganèse : pH < 7,5, teneur en oxygène > 6 mg/l O<sub>2</sub>, rH > 26.

Le système permet le traitement d'eau dont les concentrations en fer varient de 0,1 à plus de 30 mg/L.

- **C'est le seul traitement qui permet l'élimination des complexes du fer et du manganèse avec la silice.**

Comme le fer et le manganèse oxydés se trouvent à l'intérieur des bactéries, nous obtenons de boues très gélatineuses, faciles à éliminer même à des vitesses de filtration très élevées jusqu'à 60 m/ heure, dans les usines cette vitesse varie de 20 à 40 m/heure.

### **Avantages des traitements d'oxydation biologique du fer et/ou du manganèse**

- c'est le seul traitement apte à éliminer le fer ou le manganèse complexé à de la silice
- l'arsenic et l'antimoine sont co-éliminés quel que soit leur valence
- les vitesses de réactions sont beaucoup plus rapides que pour les oxydations chimiques
- les boues produites sont gélatineuses et très facilement séparables de l'eau. L'étape de décantation n'est pas nécessaire même pour des concentrations pouvant atteindre 20 voire 30 mg/L de fer
- les vitesses de filtration sont plus élevées et varient de 20 à 40 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/ heure
- c'est un traitement purement passif, aucun réactif chimique n'est ajouté. Il suffit de laisser le filtre s'ensemencer naturellement, environs 3 à 4 jours en eau à 15°C et 10 à 15 jours si l'eau est à 8°C
- les installations sont donc beaucoup plus compactes
- dès que les filtres sont opérationnels, ils peuvent être arrêtés sans problème pendant plusieurs jours, le redémarrage est immédiat. En revanche, lors des changements du sable, il est nécessaire de respecter un temps d'attente pour que les biofilms se reforment (ré-ensemencement).
- les boues sont plus faciles à traiter

### **Inconvénients des traitements d'oxydation biologique du fer et du manganèse**

- ces traitements sont sensibles aux basses températures des eaux (< 6°C), ils ne sont réservés qu'aux eaux souterraines en métropole
- ces traitements sont sensibles aux toxiques inhibiteurs : les sulfures, certains micropolluants minéraux ou organiques toxiques
- il est impératif d'avoir une très bonne étape de désinfection avant l'entrée de l'eau dans le réseau de distribution (CT<sub>10</sub> > ou égal à 15). Ces bactéries sont responsables dans le réseau de distribution de phénomènes de corrosion biologique.
- comme les conditions d'oxydation sont différentes pour le fer et le manganèse, si la teneur en fer est < à celle du manganèse, il faudra d'abord oxyder le fer (rH=14, O<sub>2</sub> = 2 mg/L) puis ensuite réoxygéner l'eau (6 à 7 mg/L O<sub>2</sub>, rH = 26) pour enlever le manganèse. Si l'eau contient aussi des ions ammonium le traitement biologique se fait en 3 fois : fer puis ammonium puis manganèse.
- Effets négatifs de la chloration : dans une installation de traitement par oxydation qui ne fonctionnait pas, du chlore avait été ajouté, le dysfonctionnement s'amplifiait : Le chlore gêne l'installation de phénomènes d'oxydation biologique.

### **Systèmes in-situ utilisant cette oxydation biologique**

C'est un système connu sous le nom de système "VIREDOX" qui consiste, pour un puits riche en fer et ou en manganèse (dans des alluvions le plus souvent), à tracer une couronne de 10 m de rayon autour du puits et à creuser tous les 2 à 3 mètres sur cette circonférence, des forages de faible diamètre. De l'eau saturée d'oxygène est ensuite injectée, par exemple pendant 2 heures dans 2 forages et ainsi de suite. Cette oxygénation du sol permet d'obtenir, au sein même dans la nappe, une présence d'oxygène (bulle) propice à la colonisation des ferrobactéries et donc à la rétention, dans le sol, du fer et/ ou du manganèse. L'expérience acquise montre qu'après plus de 20 ans d'injection, le sol n'est toujours pas colmaté. En revanche, dès arrêt de l'injection d'oxygène, l'eau extraite du forage est à nouveau fortement chargée en fer, du fait de son accumulation et sa remise en suspension. Ce procédé est très utilisé en Allemagne. Pour de l'eau contenant des traces d'arsenic ou antimoine, la technique a également montré une accumulation de ces éléments dans le sol qui sont co-éliminés avec le fer.

### **b.3. Autres moyens d'éliminer le fer et/ou le manganèse**

Lors de la décarbonatation des eaux par élévation du pH (8,5) et précipitation du carbonate de calcium, certains éléments peuvent être co-précipités.

C'est le cas du carbonate ferreux, de l'hydroxyde ferreux et du carbonate manganéux : Fe (CO<sub>3</sub>), Fe(OH)<sub>2</sub> et Mn(CO<sub>3</sub>) ; le nickel est aussi éliminé sous forme Ni(OH)<sub>2</sub>.

Lorsque le sable utilisé pour la rétention du MnO<sub>2</sub> oxydé par le permanganate de potassium, se recouvre d'une couche noire de MnO<sub>2</sub>, il est possible d'arrêter le traitement, l'oxydation se poursuit : Ce mécanisme s'explique par l'adsorption de Mn<sup>2+</sup>. L'oxydation catalytique du manganèse par l'oxygène de l'air a conduit à proposer un moyen



passif d'élimination du manganèse, il suffit de filtrer l'eau soit sur du sable obtenu en concassant du minerai de manganèse sous forme  $MnO_2$  (Goethite), soit d'utiliser un sable recouvert d'une couche de  $MnO_2$ . Ce phénomène a permis d'initier les études d'adsorption sélective de différents micropolluants toxiques. (Ce point est abordé plus loin).

Le tableau **22**. suivant, résume les conditions correspondant aux différents processus possibles pour éliminer le fer et le manganèse par oxydation chimique ou biologique :

DÉFERRISATION / OXYDATION CHIMIQUE	Fe seul ou $ Fe  >  Mn $ pH > 7,2 / $O_2$ : 0,14 mg/mg Fe pH > 7 / $ClO_2$ : 1,25 mg/mg Fe pH > 7 / $KMnO_4$ : 0,94 mg/mg Fe pH > 7 / $Cl_2$ : 0,64 mg/mg Fe pH > 6,5 / $O_3$ : 0,94 mg/mg Fe
DÉFERRISATION / OXYDATION BIOLOGIQUE	Fe seul ou $ Fe  >  Mn $ pH < 7 $O_2$ > 2 mg/l rH > 14 présence de silice (fer complexé à la silice) nécessite généralement une aération de l'eau
DÉMANGANISATION / OXYDATION CHIMIQUE	Mn seul ou $ Mn  >  Fe $ pH > 8 / $ClO_2$ : 2,5 mg/mg Mn pH > 7,3 / $KMnO_4$ : 1,92 mg/mg Mn pH > 8 / $Cl_2$ : 1,29 mg/mg Mn pH > 7 / $O_3$ : 0,95 mg/mg Mn
DÉMANGANISATION / OXYDATION BIOLOGIQUE	Mn seul ou $ Fe  <  Mn $ pH < 7 $O_2$ > 6 mg/l rH > 26 présence de silice (fer complexé à la silice) nécessite généralement une aération de l'eau
DÉMANGANISATION CATALYTIQUE	Sable recouvert de $MnO_2$ Sable recouvert d'hydroxyde de fer nécessite généralement une aération de l'eau

### c. Les ions ammonium

Les ions ammonium peuvent dans certaines nappes profondes, sans oxygène, avoir une origine naturelle. Ils peuvent aussi provenir de pollutions. Dans ce chapitre, l'ammonium est considéré comme composé d'origine naturelle.

L'élimination des ions ammonium s'effectue :

- Soit par voie chimique : oxydation par le chlore et transformation en azote gazeux. Le pH des eaux naturelles doit être surveillé, en outre dans les doses de traitement normalement utilisées (pour la désinfection), ni le bioxyde de chlore, ni l'ozone ne peuvent oxyder les ions ammonium
- Soit par voie biologique et transformation en ions nitrate

#### c.1. Oxydation chimique par le chlore

Le traitement par le chlore conduit dans un premier temps à la formation de monochloramine par substitution d'un  $H^+$  par un  $Cl^{+26}$ . Des substitutions supplémentaires conduisent dès que les monochloramines sont formées, à la formation de diazote, mais cela nécessite de compléter l'injection de chlore. La formation du diazote (par oxydation par le chlore) ne se fait qu'au-delà de cette première étape.

<sup>26</sup> L'ions  $Cl^+$  provient de  $HOCl$ , qui se décompose en  $H^+$ ,  $O_2^+$  et  $Cl^+$

Il faut théoriquement 6,7 mg de chlore par mg de  $\text{NH}_4^+$ , dans la pratique, il faut compter entre 8 et 10 mg de chlore.

Cette étape de traitement est appelée chloration au point critique ou chloration au "break point" (le chlore n'agit qu'au-delà d'une dose dépassant le "break point"). Attention toutefois, en présence de matières organiques dans l'eau, le chlore en excès peut réagir et former des composés organohalogénés dont les plus représentatifs sont les trihalométhanes (THM). Pour cette raison la pré-chloration des eaux de surface ou des eaux influencées (qui contiennent généralement des matières organiques) par des eaux de surface n'est plus autorisée.

→ Les THM sont reconnus comme paramètre générant potentiellement un risque de cancer.

La Chloration au point critique se fait après un premier traitement de l'eau, notamment après l'étape de clarification laquelle réduit les MES riches en matières organiques, ou en fin de traitement. Comme la réaction d'oxydation est assez lente, outre la bonne dose de chlore, il faut prévoir (surtout en fin de traitement) une bache présentant un volume tel qu'il permet un temps de contact de 2 heures.

### c.2. Élimination biologique des ions ammonium

Ce traitement est appelé nitrification et se décompose :

- d'une ammonification qui correspond à la minéralisation de l'azote organique en ions ammonium
- puis une oxydation des ions ammonium en nitrites puis nitrates. La première oxydation, appelée nitritation (oxydation en ions nitrite) est une étape lente. La deuxième oxydation (oxydation des ions nitrite en ions nitrates), appelée nitratisation, est une étape rapide.

On obtient 3,6 mg d'ions nitrates par mg d'ions ammonium.

Les bactéries intervenant dans le cycle de l'azote sont différentes à chacune de ces deux étapes, elles présentent donc des inhibiteurs spécifiques. Les chlorates comme les nitrites (par exemple) sont des inhibiteurs de la nitratisation. En présence de nitrites dans l'eau brute, l'eau traitée sera de fait toujours chargée en nitrites.

Les nitrites sont de très bons réducteurs de tous les oxydants utilisés pour la désinfection de l'eau. Il faut 1,6 mg de chlore par mg de nitrites.

Les dérivés du benzène, notamment le xylène, toluène, éthyle-benzène, sont des inhibiteurs de la nitritation (d'ammonium en nitrites), l'eau contient alors des ions ammonium résiduels non oxydés.

Dans les chaînes classiques de traitement des eaux, la nitrification s'établit naturellement dans les filtres rapides à sable. Cependant cette étape de traitement nécessite de respecter de nombreuses conditions :

- il faut 4,5 mg d'oxygène par mg d'ions ammonium. Une eau ayant 8 mg/L d'oxygène dissous ne peut donc nitrifier que 1,5 mg/L d'ions ammonium. Pour des teneurs supérieures, et sans ajout d'oxygène, la nitrification s'arrête au stade nitrites. Lorsqu'ils sont complétés d'une insulfalation d'oxygène, les réacteurs doivent fonctionner en mode ascendant (filtres ascendants nitrificateurs). Ces filtres sont plutôt utilisés pour la nitrification des eaux souterraines dont certaines peuvent contenir de fortes concentrations en ions ammonium
- il faut impérativement un pH de l'eau supérieur ou égal à 7,5
- la température de l'eau doit être supérieure à 6°C, sachant toutefois qu'en dessous de 8°C, la nitrification ne sera pas complète
- comme tous les traitements biologiques, ces traitements sont sensibles aux polluants tels que les Chlorates, xylène, toluène, éthyle-benzène, nitrites, nickel, matières organiques facilement oxydables, complexants forts : EDTA<sup>27</sup>, NTA<sup>28</sup>, EGTA<sup>29</sup>, AMPA<sup>30</sup>.

Ces traitements nécessitent l'ajout de certains éléments notamment du Phosphore (généralement il s'agit d'un ajout d'ortho phosphates lors de la nitrification d'eaux chargées en ions ammonium), des traces de cuivre, molybdène, cobalt, magnésium. Ces conditions expliquent l'effet inhibiteur des complexants forts qui agissent et complexent le cuivre.

<sup>27</sup> Ethylène diamine tétraacétique

<sup>28</sup> L'acide nitrilotriacétique

<sup>29</sup> Ethylène Glycol Tétracétique Acide

<sup>30</sup> Métabolite du Glyphosate

Comme pour l'élimination par voie biologique du fer et/ou du manganèse, la nitrification dans le sol est possible par injection d'une eau saturée d'oxygène dissous dans une couronne autour du puits central. Ce traitement est bien souvent couplé au système de déferrisation-démanganisation in situ dénommé système VIREDOX (cité ci avant).

### **Contraintes pour les traitements biologiques des ions ammonium**

La température des eaux doit être supérieure à 8°C, cette vigilance s'applique principalement au traitement des eaux de surface.

- l'eau ne doit pas être distribuée pendant la phase de maturation (ensemencement) des filtres
- pour les eaux de surface, les variations rapides de concentration en ions ammonium peuvent poser problème, car les bactéries doivent s'adapter à la bio oxydation des ions. En période d'eaux chaudes (>15°C) l'adaptation est très rapide (quelques minutes), à température froide (< 10°C) il faudra plusieurs heures, et durant ce temps des ions ammonium resteront présents dans l'eau et interféreront sur la désinfection au chlore (située en aval)
- des lavages périodiques des filtres doivent être réalisés
- respecter un pH minimum de 7,5 en entrée de nitrification
- la teneur en nitrites doit être particulièrement surveillée au redémarrage d'installation (après des arrêts > 8 heures)
- respecter une concentration limite en nitrites (0,1 mg/l) en sortie d'étape de nitrification ; à défaut l'eau ne pourra être distribuée (du fait de cette présence de nitrites qui inhibent la désinfection)

Pour des teneurs en ions ammonium > 1,5mg/l, il faut utiliser des nitrificateurs avec ajout d'air ou d'oxygène. Comme cité ci-dessus, les nitrificateurs sont des filtres en mode ascensionnel dans lesquels sont aussi ajoutés des ortho phosphates à des doses de 0,1 à 0,5 mg/L. Ce traitement s'applique généralement aux eaux souterraines et plus particulièrement des eaux alluviales réalimentées par des rivières dont les sédiments peuvent être riches en matières organiques.

### **c.3. Suivi de la qualité des eaux**

Pour un traitement de nitrification, le responsable de la distribution des eaux (PRPDE) doit intégrer dans son plan de surveillance de l'installation :

- des analyses fréquentes des nitrites et d'ammonium
- des mesures fréquentes du taux d'oxygène dissous, qui doit être supérieur ou égal à 75%
- des mesures en continu du pH pour s'assurer du bon fonctionnement de la nitrification
- des analyses fréquentes en ortho phosphates, s'ils sont utilisés dans le traitement
- les résultats des analyses de suivi sont intégrés au fichier sanitaire de l'installation (enregistrement, contrôles des valeurs, comparaison aux valeurs de consigne, alarme le cas échéant voire arrêt)

Si en outre, l'installation comporte une phase d'oxydation au chlore, la PRPDE doit également intégrer à son plan de surveillance :

- des analyses fréquentes du chlore libre et combiné
- des analyses fréquentes de THM
- les résultats des suivis sont enregistrés dans le fichier sanitaire de l'installation (enregistrement, contrôles des valeurs, comparaison aux valeurs de consigne, alarme le cas échéant voire arrêt)

## **2. Micropolluants minéraux toxiques présents dans les eaux**

### **a. Micropolluants minéraux toxiques naturellement présents dans les eaux**

Par micropolluants toxiques, sont visés **le fluor, l'arsenic, l'antimoine, le sélénium, le Baryum et des éléments radio actifs (uranium, radium, radon)**.

Dans le chapitre traitant de la coagulation, il est mentionné que certains de ces éléments réagissaient avec les **coagulants** utilisés (essentiellement avec le fer ferrique) pour donner des composés qui **co-précipitent** ensuite avec les floccs formés.

Lors de la **décarbonatation chimique** des eaux (à la chaux ou à la soude), le Baryum, l'arsenic, l'antimoine sont aussi co-éliminés.

Lors de l'**élimination biologique** du fer et/ou du manganèse, l'arsenic et l'antimoine sont co-éliminés quelle que soit leur valence. Cependant pour obtenir cette co-élimination, il est impératif que l'eau contienne du fer et/ou du manganèse. Seuls, c'est-à-dire en l'absence de fer ou de manganèse, leur élimination par traitement biologique n'est pas possible.

Dans ce chapitre, seuls les traitements par **adsorption sélective** seront traités. Ces traitements s'appliquent au fluor adsorbé sur de l'alumine activée, à l'arsenic, au sélénium, à l'antimoine, à l'uranium et au radium lesquels sont adsorbés sur du MnO<sub>2</sub> ou sur de l'oxyhydroxyde de fer (dénommé généralement "GEH"). Pour le radon, qui se présente sous forme de gaz, une aération de l'eau sera suffisamment efficace.

Certains éléments ne sont pas éliminables par les étapes de traitement existantes. Il s'agit notamment du **bore** qui n'est ni éliminé par nano – filtration, ni par osmose inverse, à moins d'effectuer une deuxième osmose à un pH > 10. Des recherches sont en cours pour adapter des résines échangeuses d'ions au bore et aux perchlorates (deux résines différentes). Mais à ce jour, elles ne sont pas agréées par le ministère de la santé.

Les ions **chlorite, chlorate, bromate** ne sont pas éliminables, notamment lorsque leur présence résulte d'un ajout de bioxyde de chlore, ou d'une réaction de l'ozone, ou de solution d'hypochlorite de sodium ("Eau de Javel") riche en ions bromates et chlorates. Pour éviter la présence de ces paramètres, les seules mesures efficaces consistent à limiter les doses injectés en ajustant les doses de réactifs au seul besoin de la désinfection (ce qui nécessite d'en contrôler efficacement le débit d'injection), ou à sélectionner des réactifs de meilleure qualité (plus purs ou en limitant leurs durées de stockage). Cette contrainte s'applique particulièrement à l'eau de Javel qui se décompose et donne des ions chlorates.

Les adsorbants à base de fer ferrique les plus utilisés sont : la goethite, l'hématite, l'oxyhydroxyde de fer (GEH), le sable, l'antracite, le charbon actif recouvert d'oxyde de fer ferrique (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), la glauconite ou les sables verts. Les adsorbants à base de dioxyde de manganèse les plus utilisés sont : du minerai de manganèse broyé, du sable, d'antracite et du charbon actif recouvert de dioxyde de manganèse. Les adsorbants à base d'oxyde d'aluminium les plus utilisés sont des alumines plus ou moins activées thermiquement.

#### **Concernant les oxydes de fer :**

- l'arsenic ou l'antimoine à valence III (c'est-à-dire l'arsénite et l'antimonite) ne sont pas oxydés par des oxydes de fer et sont donc très mal retenus par adsorption sélective par ces oxydes de fer<sup>31</sup>. En revanche, l'arséniate et l'antimoniote (arsenic et antimoine à la valence V) sont retenus par adsorption sélective sur ces mêmes supports
- le pH de l'eau joue un rôle important sur l'efficacité d'adsorption
- la minéralisation de l'eau doit-être contrôlée à cause des effets de compétition
- la silice gêne la rétention de l'arsenic et de l'antimoine
- l'oxyhydroxyde de fer (GEH), non régénérable permet une bonne rétention de l'arsenic et de l'antimoine à pH 7,5

#### **Concernant les oxydes de manganèse :**

- l'arsenic et l'antimoine sont retenus quelle que soit leur valence car MnO<sub>2</sub> les oxyde de la valence III à V
- le pH joue aussi un rôle important
- la minéralisation de l'eau doit-être contrôlée à cause des effets de compétition
- la silice gêne aussi la rétention de l'arsenic et de l'antimoine

#### **Concernant les oxydes d'aluminium :**

- le fluor est très bien retenu
- le pH joue un rôle important
- la minéralisation de l'eau doit-être contrôlée à cause des compétitions
- pour l'arsenic et l'antimoine à la valence V, l'interférence de la silice est plus marquée

---

<sup>31</sup> Une oxydation est à prévoir en amont dans ce cas

**Éléments pouvant être éliminés :**

- soit des formes anioniques (Arséniate, sélénites, antimonates, vanadates, phosphates...)
- soit des formes cationiques (Uranium :  $UO_2^{++}$ , radium :  $RaO_2^{++}$ )
- compte tenu des risques d'interférences, il est important, de s'assurer de l'efficacité du procédé sur l'eau à traiter, par des essais en laboratoire.

À l'exclusion du GEH qui n'est pas régénérable, la régénération des supports d'absorption (une fois la saturation atteinte) consiste en :

- une acidification si les formes retenues sont cationiques
- une alcalinisation si les formes retenues sont anioniques

Les effluents issus de la régénération ne peuvent pas être rejetés directement dans le milieu naturel, il faut d'abord procéder à une décontamination adaptée.

L'activation consiste en :

- une alcalinisation pour la rétention des formes cationiques
- une acidification pour la rétention des formes anioniques
- pour les supports oxydants, l'activation passe aussi par l'ajout d'un oxydant (permanganate de potassium)
- pour l'alumine activée, l'activation se fait thermiquement

Ces procédés de régénération et d'activation demandent la manipulation d'acides et de bases qui sont des réactifs dangereux. C'est la raison pour laquelle, pour les petites entités de traitement, le support d'adsorption de choix est généralement le GEH, non régénérable. Il est tout simplement remplacé et le fournisseur prend en charge le devenir du matériau saturé d'éléments toxiques (le service doit cependant être en mesure d'identifier la filière d'évacuation ; il reste responsable du déchet).

**Avantages de ces procédés :**

- ils permettent la rétention de certains éléments toxiques à l'état de trace
- ils ont une certaine sélectivité en fonction du mode d'activation
- ils n'ont pas ou très peu d'action sur la minéralisation globale de l'eau
- ils évitent l'utilisation d'oxydant puissant pour éliminer certains éléments
- ils consistent un traitement passif ou semi passif, notamment le GEH

Tableau 23. récapitulatif de l'adsorption sélective de micropolluants minéraux sous forme cationique.

ÉLÉMENTS À ÉLIMINER	TYPES D'ADSORBANT POUVANT ÊTRE UTILISÉ ET SÉLECTIVITÉ
Fe <sup>++</sup>	Le dioxyde de manganèse est meilleur que l'oxyhydroxyde de fer : adsorption et oxydation Si le pH diminue l'adsorption diminue
Mn <sup>++</sup>	Le dioxyde de manganèse Adsorption et oxydation Si le pH diminue l'adsorption diminue
Pb <sup>++</sup>	Le dioxyde de manganèse ou l'oxyhydroxyde de fer Le pH joue un rôle important
Cu <sup>++</sup> Cd <sup>++</sup> Zn <sup>++</sup> Co <sup>++</sup> Ni <sup>++</sup> Hg <sup>++</sup>	Le dioxyde de manganèse ou l'oxyhydroxyde de fer Le dioxyde de manganèse est meilleur que l'oxyhydroxyde de fer Le pH joue un rôle important Pb > Hg > Cu > Zn > Cd > Co > Ni > Sr > Ca > Sur le dioxyde de manganèse ou l'oxyhydroxyde de fer.
UO <sub>4</sub> <sup>+</sup> PuO <sub>4</sub> <sup>+</sup> RaO <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Le dioxyde de manganèse ou l'oxyhydroxyde de fer Le pH joue un rôle important

Tableau 24. récapitulatif de l'adsorption sélective de micropolluants minéraux sous forme anionique

ÉLÉMENTS À ÉLIMINER	TYPES D'ADSORBANT POUVANT ÊTRE UTILISÉ ET SÉLECTIVITÉ
As Sb V	Le dioxyde de manganèse : As <sub>III</sub> <sup>32</sup> , As <sub>V</sub> Sb <sub>III</sub> , Sb <sub>V</sub> V <sub>V</sub> L'oxyhydroxyde de fer : As <sub>III</sub> , As <sub>V</sub> Sb <sub>III</sub> , Sb <sub>V</sub> V <sub>V</sub> OH <sup>-</sup> > H <sub>2</sub> AsO <sub>4</sub> <sup>-</sup> > H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> > H <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> <sup>-</sup> > SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> = HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> > NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> Alumine activée : As <sub>V</sub> <sup>33</sup> , Sb <sub>V</sub> , V <sub>V</sub>
Se	Oxyhydroxyde de fer : Se <sub>IV</sub> et Se <sub>VI</sub> Alumine : Se <sub>IV</sub>
Cr	Le dioxyde de manganèse et l'oxyhydroxyde de fer : Cr <sub>III</sub> et Cr <sub>VI</sub>
P	Le dioxyde de manganèse et l'oxyhydroxyde de fer : P <sub>V</sub>
F	Alumine activée

<sup>32</sup> As<sub>III</sub> : Arsenic valence III

<sup>33</sup> As<sub>V</sub> : Arsenic valence V

## b. Polluants minéraux présents du fait d'une pollution des eaux

Hormis les micropolluants toxiques, les ions nitrates sont généralement trouvés dans les eaux souterraines et dans une moindre mesure dans les eaux de surface.

En eau souterraine, la présence de fer dissous est une garantie de protection vis-à-vis des ions nitrates : le Fer dissous ne se trouve que dans des nappes souterraines contenant des teneurs en oxygène dissous > 5 mg/L (l'absence d'oxygène évite la transformation d'ammonium en nitrates).

Tous les nitrates sont solubles dans l'eau, ils ne peuvent donc pas conduire, par réaction, à des sels insolubles. Il sera donc impossible de les éliminer par co-précipitation. Dans les sols, si les ions nitrates (dissous dans l'eau) ne sont pas transformés (notamment biologiquement), ils aboutissent dans l'eau des nappes souterraines.

Les seuls traitements utilisables sont donc :

- les traitements de déminéralisation
- les traitements d'échanges ioniques
- les traitements de transformation biologique

→ Les traitements de déminéralisation font appel à des techniques complexes non utilisables pour des petites unités de traitement. Ce sont notamment :

- l'osmose inverse
- à un niveau plus faible, la nano filtration qui réduira au mieux la teneur en ions nitrate de 30%
- l'électrodialyse (des membranes permselectives spécifiques aux ions nitrate sont agréées en France)

→ L'élimination des ions nitrate peut s'effectuer par plusieurs voies mais il y en a deux plus couramment utilisées, sans toutefois sous-estimer la solution d'une dilution des eaux avec une source moins riche en ions nitrate (cette technique est tout à fait autorisée et reste la moins onéreuse généralement).

→ La dénitrification biologique est possible uniquement pour des eaux souterraines. Pour mémoire, ce traitement (très sensible aux basses températures) n'est pas autorisé pour les eaux de surface parce que l'eau peut atteindre des températures < 8°C.

→ L'autre solution consiste en une dénitrification par échange d'ions sur des résines anioniques fortes sous forme Cl<sup>-</sup>.

### b.1. Traitements biologiques de dénitrification

Ce traitement permet de transformer les ions nitrate en azote gazeux.

Il peut faire appel à :

- des bactéries hétérotrophes aérobies qui utilisent des sources de carbone facilement assimilables pour se développer : alcools ou acides à un ou deux atomes de carbone. En France, seul l'alcool éthylique et l'acide acétique (ou acétate de sodium) sont autorisés
- des bactéries autotrophes qui utilisent un accepteur d'oxygène minéral : le soufre ou les sulfures voire l'hydrogène. En France, seul le soufre et les sulfures sont autorisés.

Dans les deux cas, l'oxygène dissous dans l'eau est d'abord consommé.

Pour ce traitement, les bio-films mis en œuvre sont très colmatants, les installations sont donc conçues de la manière suivante :

- soit des bio réacteurs à lit fluidisé ; les bio-films sont en suspension, l'eau est ensuite filtrée
- soit les bio-films sont fixés sur un média filtrant : du sable ou de la biolite. La production d'un gaz implique en principe une filtration ascendante, mais comme les bio-films formés sont très colmatants (et colmatent tous les fonds de filtres), il est généralement proposé une filtration gravitaire doublée de phases de lavages plus fréquentes

Les paramètres importants à contrôler sont :

- le pH doit être > 7,5
- la température de l'eau doit être > 8°C (c'est la raison pour laquelle ce traitement n'est pas autorisé pour les eaux de surface dont la température est < 8°C). A température plus basse, il y a formation d'ions nitrite
- comme tous les traitements biologiques, la présence de toxiques minéraux ou organiques inhibe la réaction biologique
- la source de carbone ou l'accepteur d'oxygène doit être le facteur limitant. Ainsi il ne s'agit pas de viser une dénitrification totale, le traitement peut se limiter à respecter en sortie, une teneur en nitrates de 25 mg/l environs
- en aval du traitement, il est impératif de prévoir une désinfection efficace pour éviter des problèmes de corrosion en réseau de distribution du fait de la présence dans l'eau de bactéries corrosives : CT10 ≥ 15.

## b.2. Traitements physico-chimiques de dénitratisation par échange anionique

La dénitratisation par résines anioniques fortes n'est pas à proprement parler, sélective des ions nitrates. Les ions sulfates sont aussi échangés comme les ions bicarbonates en début de cycle. En conséquence, l'élimination des ions bicarbonates (même pour quelques heures) rend l'eau agressive, il est donc recommandé d'avoir plusieurs bonbonnes de résines et de les régénérer à des périodes différentes afin d'éviter des variations de minéralisation de l'eau traitée. Les résines utilisées sont régénérées par des ions chlorure (solutions concentrées de chlorure de sodium).

Si l'eau contient déjà des ions chlorure et des ions sulfate, la teneur en chlorure de l'eau traitée en sortie de résine peut ne pas respecter la référence de qualité.

La dénitratisation conduit à une élimination totale des ions nitrates, il faut donc prévoir un by-pass permettant un mélange d'eau dénitratée et d'eau non dénitratée<sup>34</sup>.

Ces résines sont très sensibles à la température de l'eau. A 60°C, il n'y a plus d'échange d'ions.

Le groupe échangeur (fixé sur les résines) est un ammonium quaternaire qui migre facilement dans l'eau et donne de la triméthylamine. En conséquence, pour tout arrêt de l'installation d'une durée supérieure à 8 ou 10 heures, une régénération est nécessaire au redémarrage de l'installation pour éliminer la triméthylamine et les nitrosamines qui auraient pu se former.

C'est d'ailleurs pour cette raison que la dénitratisation à domicile par résine anionique forte est interdite.

Les régénérats sont des solutions très riches en ions nitrates, chlorure et sodium, ils doivent donc être traités en conséquence.

## c. Les micropolluants minéraux

Ces éléments sont co-précipités lors des traitements de clarification physico-chimiques des eaux ou lors de la décarbonatation physico-chimique. Le tableau 25. suivant donne, pour les différents micropolluants minéraux : les formes coprécipitables (Hydroxydes, carbonates ou hydroxycarbonates<sup>35</sup>) et les pH à respecter pour que la coprécipitation ait lieu.

Tableau 25.

Valeurs des pH optimum de coprécipitation de différents micropolluants minéraux ainsi que les formes coprécipitables.

H = forme hydroxyde.

C = Forme Carbonate.

HC = Forme hydroxy-carbonate.

---

<sup>34</sup> Le traitement enlève d'abord les sulfates puis les nitrates, il est nécessaire de maintenir un résiduel de nitrate dans l'eau.

<sup>35</sup> Pour les formes carbonates ou hydroxycarbonate l'eau doit avoir un TH et un TAC d'au moins 6°fr



ÉLÉMENT ET VALENCE	FORME CO PRÉCIPITABLE	PH OPTIMUM
Zn <sub>II</sub>	H	9,5
	HC	7,5
Ni <sub>II</sub>	H	9,5
Cd <sub>II</sub>	H	10
	HC	8
Pb <sub>II</sub>	H	9
	C	9
	HC	7,5
Cu <sub>II</sub>	H	9,5
	HC	7,5
Mn <sub>II</sub>	H	9
Cr <sub>III</sub>	C	7,5
Co <sub>II</sub>	H	9,5
Hg <sub>II</sub>	HC	8

En traitement d'adsorption sur charbon actif (filtres à CAG<sup>36</sup> ou réacteur à CAP<sup>37</sup>) activé par voie thermique, la surface du filtre est d'un pH basique notamment à l'interface eau/ charbon actif (le pH peut localement être aux environs de 9). En conséquence, au regard des valeurs de pH mentionnées ci-dessus, tous les éléments sont adsorbables sur ce type de charbons.

### 3. Polluants organiques naturellement présents dans les eaux

Les composés organiques naturellement présents dans les eaux dont font partie les matières organiques, sont évalués par la mesure du COD (Carbone organique dissous) ou le COT (Carbone organique total) lequel comprend également les matières organiques insolubles (MES...)

Le COD correspond à :

- des acides humiques ou fulviques : Ces acides correspondent à la fin de la chaîne de dégradation des matières organiques animales ou végétales. Ce sont des complexants de nombreux métaux : fer, manganèse, aluminium, cuivre... Ces composés réagissent aussi avec le chlore pour donner des composés organochlorés dont les plus connus sont les trihalométhanes<sup>38</sup>, les dérivés halogénés de l'acide acétique et de l'acétonitrile. Ils sont aussi responsables de la coloration des eaux (jaune, rouille ou brunâtre). Ces acides sont d'autant plus solubles que l'eau est peu minéralisée.

En effet, les humates de calcium sont très peu solubles ; dans une eau dure, le COD d'origine naturelle ne dépasse pas 3 à 4 mg/L C<sup>39</sup> alors que dans les eaux peu minéralisées, le COD peut dépasser 20 mg/L C.

En présence d'ozone, une fraction de ces acides est décomposée en molécules plus oxydées et plus petites qui sont biodégradables : CODB (Carbone organique dissous biodégradable). C'est la raison pour laquelle, dans les chaînes de traitement d'eau, l'étape d'ozonation doit être suivie d'une étape d'adsorption sur **charbon actif** en grain afin d'épuiser le **CODB** produit et éviter des post-proliférations bactériennes dans le réseau de distribution.

#### → ATTENTION

Les nouveaux réacteurs à charbon actif en poudre CAP ne permettent pas d'éliminer ce CODB ou très faiblement, comparés aux filtres à CAG.

<sup>36</sup> Charbon actif en grain

<sup>37</sup> Charbon actif en poudre

<sup>38</sup> THM

<sup>39</sup> 3 à 4 mg/L de Carbone

- des protéines : lors de l'étape de nitrification, il y a une étape d'ammonification qui correspond à la transformation de l'azote protéinique en ammonium. Ces protéines peuvent, avec le chlore, conduire à des chloramines organiques très sapides et à des trichloramines, volatiles et odorantes
- des sucres qui sont biodégradables surtout en réseau de distribution (ils sont quantifiés par la concentration en CODB)

L'élimination du **COD** se fait essentiellement lors de l'étape de clarification soit :

- par ajout de charbon actif en poudre en tête de traitement, mais les quantités nécessaires sont importantes (> 10 mg/L)
- par une pré-ozonation de l'eau à la dose de 0,2 – 0,25 mg d'ozone par mg de COD
- par coagulation avancée à pH 5-5,5 avec ajout de sels ferriques (2 mg de fer ferrique par mg de COD), précédée ou non d'une pré-ozonation à 0,2 – 0,25 mg d'ozone par mg de COD

Cette élimination peut aussi se faire par filtration sur charbon actif en grain, mais le système n'est actif que pendant 3 à 6 mois en fonction de la qualité du CAG utilisé.

Les réacteurs à **charbon actif en poudre** permettent aussi la rétention du COD et cela de deux façons :

- par adsorption au niveau du réacteur, le temps d'utilisation du charbon varie de 1 à 3 mois
- par adsorption en tête de traitement, car les purges de déconcentration du lit fluidisé de CAP sont réintroduites en tête de traitement

Afin de limiter les réactions secondaires du chlore et garantir l'efficacité de la désinfection sans limiter les doses de chlore nécessaires à la désinfection, la réglementation a fixé une référence de qualité pour le COD de 2 mg/L C.

#### **4. Micropolluants organiques présents du fait d'une pollution des eaux**

Tous les micropolluants organiques présents dans les eaux le sont généralement à des concentrations telles qu'ils s'y présentent sous forme soluble. L'eau conserve leur trace dès qu'elle a été en contact avec ces composés parmi lesquels figurent les perturbateurs endocriniens.

Seule l'analyse des propriétés physiques et physico – chimiques des molécules composant ces micropolluants organiques, permettra de définir un traitement, s'il existe d'une part et s'il permet de les traiter efficacement d'autre part. Aucun raisonnement n'est possible sur la simple base des usages ou l'origine des produits : comme les pesticides, ou les médicaments....

##### **a. Évolutions prévisibles de la réglementation au regard des connaissances analytiques**

Les micropolluants organiques génèrent de nouvelles problématiques d'origines différentes :

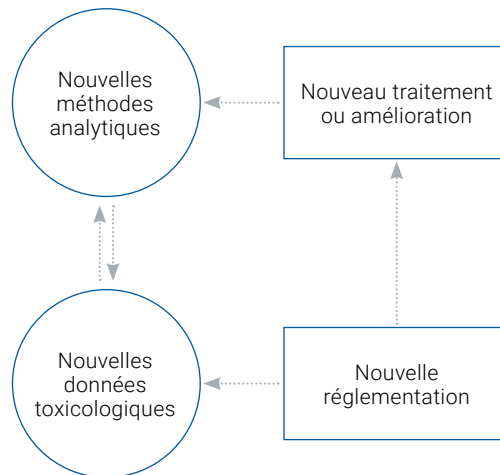
- de nouvelles molécules ou espèces chimiques sont identifiées
- les progrès de l'épidémiologie
- la détection de ces éléments a mis en évidence les limites de leurs traitements (en fonction du paramètre ou de sa concentration)
- l'analyse de ces composés et des traitements qui leur sont appliqués, a mise en évidence des réactions secondaires lors de certaines étapes de traitement : d'autres composés néo formés apparaissent et contaminent l'eau

En parallèle, la réglementation évolue et ce pour plusieurs raisons :

- de nouvelles méthodes d'analyses détectent de nouveaux composés. Par exemple, la chromatographie liquide haute pression couplée à la spectrométrie de masse a permis la détection de micropolluants organiques, ou la chromatographie ionique a permis de détecter certains micropolluants minéraux (Oxyanions : perchlorates)
- la circulation très rapide des informations au niveau mondial

Ainsi la conjugaison de ces deux contextes conduit à de nouvelles évaluations de risque qui aboutissent ensuite à la fixation de nouvelles limites de qualité. Ces dernières ont alors des conséquences :

- elles permettent la mise en place de nouvelles étapes de traitement
- elles conduisent à la modification d'étapes de traitement existantes : La mise en évidence de bactéries aptes à dégrader des molécules organiques adsorbées sur les charbons actifs, en molécules plus polaires (et donc bien moins retenues par les charbons) a conduit à une nouvelle obligation : régénérer les charbon actif en grain plus régulièrement, tous les 12 à 18 mois
- elle peut aussi aboutir à l'interdiction de certaines étapes de traitement : La découverte des molécules néoformées lors de la préchloration des eaux de surface a conduit à l'interdiction de préchloration des eaux brutes de surface.



TRAIT2004-1/JPD/INSA/TRAIT32

## b. Évolution prévisible des réglementations en traitements physico-chimiques

### **Les techniques analytiques sont de plus en plus performantes :**

- elles permettent de distinguer des familles de composés, par exemple, il est possible de détecter des composés très polaires (alors qu'ils ne l'étaient pas il y a encore cinq à dix ans)
- les analyses par composé évoluent également : les éléments minéraux sont tous détectables au niveau atomique, ainsi les nouvelles techniques permettent maintenant d'identifier de nouvelles entités : les oxyanions par exemple, les bromates, les chlorites, les chlorates, les perchlorates, les iodates, les bichromates, les chromates. Il est aussi possible de distinguer le niveau de valence des formes ioniques métalliques et ainsi statuer sur le caractère éliminable de l'élément (spéciation). Par exemple, les ions arsénites sont bien éliminés par coagulation avec des sels de fer, les ions arsénates ne le sont que très peu. Un autre exemple concerne le chrome : les ions chromite sont bien éliminés, les ions chromate et bichromate ne sont pas retenus par les chaînes de traitement classique.
- les limites de détection des composés minéraux ou organiques sont de plus en plus basses
- les informations circulent très vite, ainsi dès qu'un nouveau composé est détecté par un laboratoire dans un pays donné, les chercheurs vont s'emparer du sujet au niveau mondial et engager des recherches. De plus en plus de composés nouveaux sont ainsi identifiés
- actuellement, les couplages chromatographie gazeuse/spectrométrie de masse offrent des bibliothèques très complètes de spectres de masse et facilement disponibles (ce qui permet de trouver un composé qui n'était pas recherché à la base). En revanche, pour les couplages chromatographie liquide haute pression/spectrométrie de masse, il est nécessaire d'introduire le spectre de masse de la molécule recherchée dans la bibliothèque de son appareil (ce qui nécessite de la connaître au préalable). Mais lorsqu'il sera possible de disposer de bibliothèques centralisées très complètes, la recherche analytique progressera fortement

### **De nouveaux micropolluants organiques sont détectés :**

- les perturbateurs endocriniens présentent des risques de moyen terme et peuvent être à l'origine d'effets non

réversibles. La recherche s'est d'abord concentrée sur les œstrogènes, mais aujourd'hui d'autres molécules ou éléments minéraux (de la chimie minérale ou organique) présentent des effets similaires comme le nonylphénol provenant des détergents non ioniques (nonylphénol polyéthoxylé issus de shampoings ou de liquides pour laver la vaisselle), l'atrazine, le bisphénol A, le plomb...

- les perturbations peuvent porter sur tous les systèmes hormonaux et lorsque des tests de détection existent, ils ne sont pas tous normalisés (par exemple la détection de perturbateurs endocriniens actifs sur les systèmes de la reproduction fait appel à des poissons zèbres).
- les résidus de médicaments ( de médecines humaine et animale), notamment :
  - les antibiotiques utilisés comme facteurs de croissance pour les élevages : Ces composés<sup>40</sup> ont des répercussions importantes sur la micro biologie  
À noter qu'un élément pathogène est d'autant plus dangereux qu'il présente une résistance aux antibiotiques ; pour cette raison, l'UE a interdit l'usage en médecine vétérinaire, des antibiotiques utilisés en médecine humaine
  - les anti-inflammatoires
  - les antalgiques
  - les anticoagulants
  - les anticancéreux

#### **D'autres composés sont à prendre en compte :**

- les azurants optiques dérivés de l'acide sulfonique
- les produits imperméabilisants : les composés perfluorés
- les additifs des lessives (en remplacement des poly phosphates) : NTA, EDTA, EGTA, AMPA\* (L'AMPA est aussi le produit de métabolisation du glyphosate)
- les stabilisants de pommades, pâtes dentifrices... : le triclosan
- les crèmes écrans optiques ou solaires : jusque 21 molécules utilisées pour la préparation des écrans solaires ont d'ores et déjà été identifiées dans l'eau. Elles seraient rejetées lors du lavage des serviettes de plage
- les silicones
- les allergènes.

Cette liste est non limitative...

#### **La mise en évidence de réactions secondaires :**

Les composés organochlorés ont été les premiers éléments néoformés détectés, lors d'une réaction du chlore sur des eaux brutes riches en matières organiques. Les trihalométhanes ont été les premiers identifiés puis les dérivés chlorés et/ou bromés de l'acide acétique ou de l'acétonitrile. À ce jour, plus d'une centaine de molécules sont ainsi identifiées.

Un traitement à l'ozone ou au bioxyde de chlore va générer la formation de nouvelles molécules comme des aldéhydes, des cétones et des acides. Ces composés étant plus biodégradables, leur traitement par ozonation sera complété en aval d'une filtration sur charbon actif qui éliminera leur fraction biodégradable (grâce aux biofilms installés sur les grains de CAG (CODB)).

Les pesticides ou d'autres micropolluants organiques génèrent des molécules plus polaires donc moins adsorbées par le charbon actif.

→ Ces réactions sont toutefois de faible importance en comparaison des réactions secondaires obtenues par des couplages : ozone/UV, ozone/eau oxygénée, UV/eau oxygénée ou chlore/eau oxygénée, rayonnements UV (à des longueurs d'onde < 230 nm) couplés ou non à du dioxyde de titane sous forme anatase. Des réactions radicalaires apparaissent et coupent les liaisons C-X, C-N... la méconnaissance des molécules formées et de leur polarité conduit à interdire les étapes de traitement qui génèrent ces réactions radicalaires.

<sup>40</sup> Les antibiotiques sont utilisés comme traitement préventif et non curatif.

\* L'acide nitrilotriacétique; Ethylène diamine tétraacétique; Ethylène Glycol Tétraacétique Acide, Métabolite du Glyphosate.

La biodégradation conduit aussi à la formation de nouvelles molécules, notamment le relargage de monomères à partir de polymères utilisés pour le traitement des eaux ou d'éléments issus des matériaux véhiculant ces eaux. En conséquence, en eau potable, seuls les matériaux conformes aux dispositions réglementaires peuvent être utilisés. Quant aux réactifs de synthèse utilisés pour la coagulation ou la floculation des eaux, il est convenu, à titre conservatoire, de considérer que la totalité du résiduel de monomère contenu dans le réactif va migrer dans l'eau. Ainsi la pureté en monomère du réactif sera définie par la dose maximale de produit tolérée dans l'eau (en considérant qu'il migrera en totalité). Cette disposition concerne les poly-acrylamides anioniques, neutres ou cationiques, du polyadmac...

### **Le problème des résidus de médicament :**

À ce jour, l'interdiction de certains médicaments n'est pas envisagée voire même inenvisageable, notamment certains produits phytosanitaires.

Après consommation, les molécules excrétées par les urines se présentent sous une forme conjuguée non active. Mais en station d'épuration des eaux usées, les molécules sont dé-conjuguées par voie biologique et retrouvent toute leur activité. Ce phénomène vise également les contraceptifs (Œstrogènes de synthèse ou naturels).

Le pouvoir d'adsorption des boues activées en eaux usées est comparable à celui du charbon actif. De ce fait, si une molécule est éliminée en traitement des eaux usées, elle devrait l'être lors d'un traitement de potabilisation des eaux. Une molécule, non traitée dans les eaux usées, ne le sera pas en traitement de potabilisation, comme la carbamazépine l'a démontré.

Les antibiotiques utilisés parfois sans discernement par l'homme, vont conduire à la multiplication de résidus. Quant aux facteurs de croissance utilisés en élevage industriel ou intensif, ils conduisent déjà à l'instauration d'antibiorésistance.

Outre les antibiotiques, la notion de résidus concerne d'autres éléments, notamment :

- les toxines
- les prions : à noter que les établissements d'équarrissage ne sont soumis qu'à des obligations de moyens
- les nano particules : leur usage en traitement de l'eau est très surveillé voire interdit. Il existe cependant des usages rapportés par la littérature : nano particules d'argent pour la désinfection de l'eau, nano particules de fer pour la dénitrification des eaux, du dioxyde de titane pour augmenter la photolyse par rayonnements UV (induction de réactions radicalaires)
- les pesticides restent une grande inconnue du futur

En effet lors de la mise sur le marché d'une nouvelle molécule, trois types d'exposition sont à prendre en considération :

- a. l'utilisateur: plus la molécule est hydrophile, moins elle traversera la peau et plus elle sera facile à éliminer lors d'une douche
- b. le consommateur : plus la molécule est hydrophile, plus son élimination des aliments est aisée par rinçage à l'eau
- c. l'environnement : plus la molécule est hydrophile moins elle se concentre le long de la chaîne alimentaire

→ **En conséquence, plus la molécule est hydrophile moins le traiteur d'eau est capable, à ce jour, de l'éliminer.**

### **c. Paramètres à connaître pour prévoir l'efficacité des traitements pour un micropolluant donné**

→ Pour rappel, l'élimination des micropolluants organiques, n'est pas basée sur l'usage des composés mais uniquement sur leurs propriétés physico – chimiques.

Ainsi, pour étudier le traitement d'une molécule donnée, il faut connaître :

1. sa formule chimique
2. sa configuration moléculaire : les molécules planes sont mieux adsorbées que les molécules à encombrement stérique important. Le charbon actif est très proche du graphite dont la structure est en feuillets
3. le pKa<sup>41</sup>, si c'est un acide ou une base
4. la masse molaire qui va permettre de juger de la vitesse de saturation du charbon : les charbons actifs sont constitués de micropores (sur lesquels s'adsorbent les petites molécules) mais également de pores de tailles plus élevées (qui retiendront les molécules de tailles supérieures, mais elles accéléreront la saturation des charbons). Comme l'adsorption est un phénomène réversible et que les forces de liaison sont uniquement de forces de contact (forces de Van Der Waals), si la molécule a moins de 6 atomes de carbone, son adsorption sera très rapide mais sa désorption également, ainsi sa rétention sur les charbons sera faible. Les trihalométhanes ou les solvants chlorés à 1 ou 2 atomes de carbone entrent dans ces catégories de molécules.

→ D'une manière générale, les molécules de moins de 6 atomes de carbone seront mal retenues sur le charbon actif.

5. La solubilité dans l'eau directement liée à l'hydrophobicité : plus la molécule est hydrophobe, moins elle est soluble dans l'eau
6. L'hydrophobicité est mesurée par le calcul du log Kow<sup>42</sup> (ou LogP). Il faut toutefois s'assurer que la mesure a été effectuée à un pH proche de celui de l'eau à traiter. Le pH va influencer sur la présence (ou non) de formes ioniques très solubles dans l'eau comme le 2.4D (Acide 2.4 dichlorophénoxyacétique) ou des ammoniums quaternaires (diquat, paraquat).

→ Le coefficient de partage octanol/eau correspond au rapport des concentrations d'un composé ajouté à un mélange non miscible entre eux d'octanol et d'eau.  $[\text{Composé X octanol}] / [\text{Composé X eau}]$

Si log Kow > 3,5 la molécule sera bien adsorbée sur les floccs lors de la coagulation.

Si log Kow > 1,5 la molécule sera bien adsorbée sur un bon charbon actif.

Si log Kow < 1 la molécule sera mal adsorbée voire pas du tout.

7. La tension de vapeur à 20°C se caractérise par la constante de Henry. Ce paramètre permet de juger si la molécule peut être extraite de l'eau par aération forcée (stripping)

→ Si la constante de Henry est >  $3 \cdot 10^{-3}$  la molécule pourra être éliminée, il faudra alors entre 5 et 20 volume d'air par volume d'eau.

8. La demi-vie biologique et bien sûr les produits de décomposition qui en résultent: Le sol étant un réacteur biologique très efficace, une molécule risque de se biotransformer
9. La demi-vie d'hydrolyse et les produits de transformation qui en résultent en milieu acide ou alcalin : En nappe d'une profondeur supérieure une dizaine de mètres, les phénomènes de biodégradation sont quasi-inexistants, les seules transformations sont dues à de l'hydrolyse

Toutes ces données devraient être progressivement accessibles car le règlement Européen REACH<sup>43</sup> impose de les caractériser sur toutes les molécules avant leur commercialisation.

<sup>41</sup> pKa : Constante d'acidité d'un couple acide-base.

<sup>42</sup> Mesure de la solubilité: coefficient de partage entre l'octanol et l'eau.

<sup>43</sup> "NO DATA NO MARKET" REACH= (Registration Evaluation Autorisation Restriction of Chemicals : ou Enregistrement Evaluation Autorisation Restriction d'emploi pour les produits chimiques fabriqués et/ou vendus en Europe à des tonnages bien définis).

→ La polarité de ces micropolluants organiques nécessite déjà de trouver de nouveaux adsorbants sélectifs (par exemple le glyphosate et son principal métabolite l'AMPA (Acide Amino Méthyl Phosphonique)).

### **Conséquences sur les étapes et leur place dans la chaîne de traitement**

Pour traiter les eaux et éliminer des composés qu'ils soient micro biologiques, minéraux ou organiques, il n'y a aujourd'hui que trois voies utilisables et complémentaires les unes avec les autres. L'approche est applicable aux micropolluants organiques et consiste à :

- Extraire le composé à éliminer
- Transformer le composé puis l'extraire
- Transformer le composé et laisser dans l'eau les produits issus de la transformation

## **5. Les traitements qui retirent (ou extraient) le composé**

En théorie, lors d'un traitement visant à extraire le composé de l'eau, rien n'est ajouté. Il faut toutefois s'attacher à la gestion des déchets issus du traitement lesquels contiennent le composé éliminé. Le traitement peut en outre avoir des répercussions sur la qualité de l'eau ou sur les rejets.

### **a. Les membranes denses de nano filtration ou d'osmose inverse**

Elles éliminent les molécules solubles et les ions. Pour éviter leur colmatage irréversible, l'eau doit être complétée de réactifs chimiques qui évitent la précipitation de certaines molécules au sein de la membrane, notamment les molécules liées à des ions alcalinoterreux (calcium, magnésium, strontium et baryum).

En outre, C'est d'abord le CO<sub>2</sub> contenu dans l'eau qui passera au travers de la membrane rendant ainsi les eaux agressives. Enfin, ces traitements membranaires sont très complexes à mettre en œuvre, ils ne sont pas adaptés aux petites unités de production.

Le besoin de traiter les micropolluants organiques dans l'eau ne justifie pas à lui seul une telle installation. Leur élimination peut toutefois résulter d'une co-élimination ou d'un effet secondaire lorsqu'ils sont présents dans l'eau. Par ailleurs, la nano-filtration ne permet pas l'élimination de tous les micropolluants organiques notamment les petites molécules.

### **b. Le stripping**

Il consiste à pratiquer une aération forcée de l'eau pour en extraire les composés volatils. Attention le CO<sub>2</sub> est aussi éliminé et l'eau devient entartrante.

Ce traitement vise plus particulièrement les solvants chlorés à 1 ou 2 atomes de carbone : Chloroforme, chlorure de méthylène, chlorure de vinyle, dichloroéthylène, trichloroéthylène, tétrachloroéthylène, 1.1.1 trichloroéthane...

### **c. L'adsorption**

L'adsorption est très utilisée pour la rétention des micropolluants organiques. Elle fait appel à un adsorbant non sélectif peu performant pour certaines catégories de polluants, car les liaisons chimiques qui résultent de l'adsorption sont faibles (liaisons de Van der Waals). Ces adsorbants sont constitués de charbons actifs qui présentent de très bonnes performances pour les molécules hydrophobes, mais beaucoup moins bonnes pour les molécules hydrophiles.

Dès lors, les charbons actifs sont très utilisés d'une part parce qu'ils sont non sélectifs et d'autre part, il est impossible de prévoir l'ensemble des polluants présents dans les eaux.

Le charbon actif utilisé se présente sous deux formes :

- en poudre (CAP) : il est utilisé comme réactif ajouté, en situation de crise, à l'arrivée de l'eau brute lors d'une pollution accidentelle
- en grain (CAG) : il est utilisé en fin de traitement, dans des filtres pour l'affinage de l'eau, afin d'éliminer le bruit de fond de pollution par micropolluants organiques. Ces filtres sont des réacteurs biologiques qui après quelques mois peuvent aussi induire une bio transformation de certaines molécules organiques par sélection de bactéries. En outre, suivant son mode d'activation le charbon aura des propriétés physiques différentes :
  - activation thermique, le charbon actif sera basique
  - activation chimique, le charbon actif sera acide et riche en ions phosphate qui amplifient les phénomènes de bio transformation des molécules



#### → ATTENTION

Ces filtres à CAG ne permettent pas de traiter les eaux très contaminées. En cas de pollution accidentelle il est impératif de retenir la pollution en amont par un ajout de charbon actif en poudre en tête de traitement.

- en poudre et en réacteur, pour un traitement intermédiaire en remplacement des filtres à charbon actif : Le réacteur CAP se compose d'un réacteur, d'un décanteur permettant la séparation eau/charbon actif en poudre avec ajout d'un adjuvant de floculation, d'un filtre à sable et dans certains cas, d'une filtration membranaire. Ces systèmes présentent peu d'inconvénients et remplacent progressivement les filtres à charbon actif en grain.

### d. Cas particulier de l'adsorption sur charbon actif

Comme ce traitement est actuellement le traitement de choix pour la rétention des micropolluants organiques, il est nécessaire de détailler les paramètres à prendre en compte pour la conception d'une telle installation.

En effet, l'adsorption est un phénomène réversible (adsorption/désorption), plus les cinétiques d'adsorption seront lentes, moins la molécule sera adsorbée. En outre, un équilibre entre adsorption /désorption s'établit après un temps de contact.

Ainsi il sera nécessaire :

- d'identifier la molécule à retenir : plus la solubilité<sup>44</sup> de cette molécule dans l'eau sera importante (> 10 g/L) plus l'adsorption sera difficile
- de même, plus la molécule est polaire, plus elle est difficile à retenir. L'hydrophobicité est à appréhender par le calcul du Log Kow<sup>45</sup>; si celui-ci est < 1,5 la molécule ne sera pas adsorbée
- enfin le pKa de la molécule : Les formes moléculaires sont mieux adsorbées que les formes ioniques
- la taille de la molécule joue également un rôle : les molécules à moins de 6 carbones sont mal adsorbées car la désorption est rapide. Les molécules dont la masse est supérieure à 10 000 g/L sont mal adsorbées, du moins l'adsorbant sera très vite saturé car les micropores du charbon actif ne leur sont pas accessibles
- préciser la qualité de l'eau
- la température de l'eau joue sur la cinétique d'adsorption, à basse température (< 6°C) la viscosité de l'eau ralentit l'adsorption, en revanche à température > 25°C la désorption est accélérée
- le pH jouera un rôle important pour les molécules qui réagissent avec l'eau, les acides et bases notamment

<sup>44</sup> La solubilité de la molécule doit être évaluée au pH de l'eau à traiter

<sup>45</sup> Coefficient de partage entre l'octanol et l'eau



- l'adsorbant lui-même : Il n'y pas un charbon actif mais de multitudes de charbons actifs qui se caractérisent par :
  - leur mode d'activation : l'activation thermique à 1000°C en atmosphère contrôlée conduit à des CA basiques, mais surtout à de très bons pouvoirs d'adsorption. Les charbons actifs en poudre activés thermiquement n'ont pas besoin de locaux inertés pour leur stockage, ils ne présentent pas de risque d'auto-inflammation et d'explosion.
  - l'activation chimique, à l'acide phosphorique à 550°C environ conduit à des charbons actifs acides. Leur pouvoir d'adsorption est médiocre, en revanche, ils sont de très bons supports pour les biofilms. Leur stockage nécessite un local inerté, compte tenu du risque d'explosion qu'ils présentent ("coup de grisou")
  - la surface spécifique doit être supérieure à 1000 m<sup>2</sup>/g
  - l'indice d'iode doit être supérieure à 950 : un tel indice permet de régénérer les charbons deux fois. En effet, chaque régénération occasionne une perte moyenne de 200 points d'indice d'iode, mais elle présente un coût inférieur au renouvellement du charbon neuf (d'environ 50%). Dans certains cas, et notamment en fonction du composé à traiter, le charbon est tout simplement remplacé (non régénéré)
  - la granulométrie : plus la taille du charbon actif est faible, plus la cinétique d'adsorption est rapide. En revanche, elle ne joue aucun rôle sur l'équilibre final d'adsorption. En conséquence, pour un temps de contact moyen de 12 minutes, il est préférable d'avoir 1 m de matériau de taille effective 1 mm environ et filtrer à 5 m/h plutôt que 2 m de matériau de même taille et une vitesse de filtration de 10 m/h.

Les filtres à charbon actif en grain sont des réacteurs biologiques ; ils nécessitent une attention particulière lors de périodes d'arrêt :

- lors d'arrêts d'une durée supérieure à 24 heures (avec une eau dont la température est inférieure à 10°C), ou lors d'arrêt d'une durée supérieure à 4 heures (avec une eau dont la température est supérieure à 20°C), les bactéries présentes continuent à vivre et consomment l'oxygène. Quand l'oxygène de l'eau est entièrement consommé, elles utilisent l'oxygène des ions nitrates adsorbés sur les charbons lors de la mise en fonctionnement du filtre<sup>46</sup>.

Ainsi au redémarrage du filtre après cette période d'arrêt (durant environs 2 à 3 premières heures), il y a production d'ions nitrites qui neutraliseront les oxydants utilisés pour la désinfection de l'eau.

En outre, le milieu devient réducteur, il y a remise en solution du MnO<sub>2</sub> adsorbé sur le CAG sous forme de manganèse divalent. Le manganèse ne sera ré-oxydé par le chlore que 24 heures après, l'eau desservie entre temps peut donc générer des plaintes des consommateurs (traces noires).

→ Lors des arrêts prolongés, il est donc indispensable d'aérer les filtres et recycler les eaux.

- Lors de la remise en filtration d'un filtre après une séquence de lavage, il sera impératif que les premières eaux filtrées (durant 1 à 15 minutes) soient réinjectées en tête de traitement (ou de filtration sur sable) ou tout simplement mélangées aux eaux de lavage des filtres (et évacuées).

Les fines de charbon qui se retrouvent dans ces premières eaux filtrées, sont très riches en bactéries sur lesquelles, les traitements biocides sont inefficaces.

#### → ATTENTION

Le charbon actif ne réfléchit pas la lumière, une mesure de la turbidité des eaux filtrées ne permettra pas de détecter la présence de ces particules fines dans l'eau ( la mesure de la transmittance de la lumière ne se fait que dans le visible<sup>47</sup>).

<sup>46</sup> La saturation pour une teneur en ions nitrate de 15 mg/l se fait en 3 ou 4 jours, le temps du défilage du filtre à sa première mise en fonctionnement avec du charbon neuf ou régénéré.

<sup>47</sup> Un turbidimètre sera inadapté. La mesure de la turbidité se faisant par réflexion de la lumière sur les particules, quand ces particules sont constituées de fines de charbon (noires) il n'y a aucune réflexion, la turbidité n'est donc pas un paramètre utilisable. Il faut utiliser l'absorptiométrie (absorption de la lumière).

- comme l'adsorption est exothermique, à l'interface charbon/eau, la chaleur émise permet la multiplication de germes thermo tolérants voire de certains pathogènes s'ils sont présents dans l'eau.  
Les filtres à charbon actif sont colonisés par des organismes fousseurs<sup>48</sup> (naïs, helminthes, nématodes, amibes, aselles...), il est donc indispensable de les laver une à deux fois par quinzaine en fonction de la température de l'eau.

Ces multiples contraintes expliquent que dans bien des cas, les réacteurs à charbon actifs en poudre (CAP) sont préférés aux charbons en grains (CAG).

### **Les réacteurs à charbon actif en poudre activés thermiquement**

Ces réacteurs ont été conçus pour réduire les risques et contraintes mises en évidence avec les filtres CAG.

Le réacteur se place entre la décantation (ou la flottation) et le filtre à sable. Le traitement se compose du réacteur et d'un décanteur lamellaire pour séparer le Charbon en poudre de l'eau. L'eau passe ensuite sur le filtre à sable puis sur une étape de filtration membranaire qui élimine les fines de CAP, les animalcules (métazoaires) sous formes adultes ou de larves ou d'œufs et bien sûr, les bactéries, les virus et les parasites.

- l'alimentation en CAP du réacteur se fait en continu à une dose qui varie de 1 à 10 ppm, le surplus est renvoyé en tête de traitement dans l'eau brute au niveau de l'étape de coagulation. Les boues de CAP sont recyclées pour une part en tête de réacteur et une autre part en tête de traitement
- les CAP sont renouvelés (ou régénérés) au maximum tous les trois mois, il n'y donc aucun risque de sélection de microorganismes pour la biodégradation des micropolluants adsorbés
- le CODB n'est cependant que peu éliminé
- concernant le COD, le système de traitement composé d'un réacteur et d'un recyclage d'une partie des CAP en tête de traitement conduit à une rétention globale (avec l'étape de clarification), du COD de l'ordre de 60 à 70 %
- lors d'une pollution du réacteur par un composé chimique, le retrait et renouvellement du CAP est aisé

C'est une étape qui sera de plus en plus utilisée, notamment parce que la cinétique d'adsorption est d'autant plus rapide que la taille du charbon est faible.

#### **→ Exemple d'évolution des techniques d'adsorption sélective pour des micropolluants organiques polaires et très solubles dans les eaux, non éliminés par adsorption sur charbon actif.**

Le cas du glyphosate est un modèle pour la prédiction de nouvelles étapes de traitement à venir :

Le Glyphosate est un herbicide non sélectif, systémique commercialisé sous forme de sels : le glyphosate-isopropyl ammonium (le plus vendu) ou sous forme de glyphosate-ammonium ou glyphosate sodium.

Sa formule chimique est :  $(HO)O=C-CH_2-NH-CH_2-P=O(OH)_2$

- $pK_{a_1} = 0,8$ ,  $pK_{a_2} = 3$ ,  $pK_{a_3} = 6$ ,  $pK_{a_4} = 11$

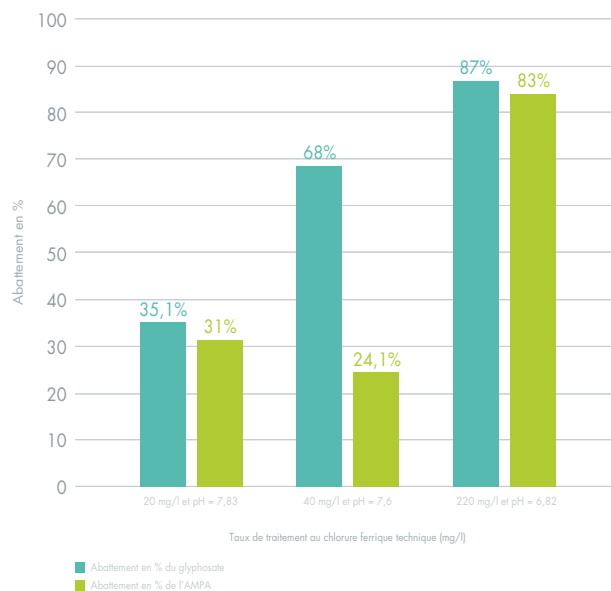
A pH 7, le composé présente deux charges négatives : le groupement acide carboxylique et une fonction acide du groupement phosphoné. Le premier pK correspond à la protonation de l'amine.

- ce groupement phosphoné pourra donc réagir avec les ions  $Al^{3+}$  ou  $Fe^{3+}$ , en revanche l'aluminium pré neutralisé ne pourra pas réagir. Les ions ferriques donnent de meilleurs résultats que les ions aluminium

Une étape test de clarification de l'eau avec du chlorure ferriques et du sulfate d'aluminium a d'ores et déjà permis de confirmer ces résultats. Pour une concentration de 1 µg/L en glyphosate, avec un traitement de 20 ppm en chlorure ferrique technique à 40%, l'élimination du glyphosate est de 82%. Ce rendement atteint 35% pour une concentration en glyphosate de 0,5 µg/L. Il décroît pour des concentrations en glyphosate de l'ordre de 0,2µg/L.

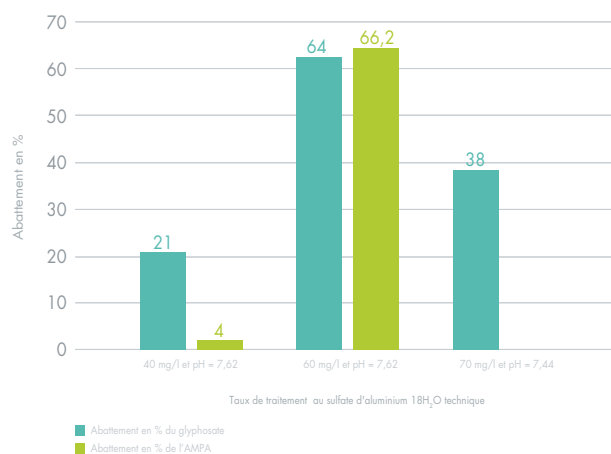
<sup>48</sup> Comparables à des vers

### Élimination du Glyphosate et de l'AMPA à 0,5mg/l par coagulation avec du chlorure ferrique



- Avec des sels d'aluminium, les résultats sont un peu plus faibles

### Élimination du Glyphosate et de l'AMPA à 0,5mg/l par coagulation avec du sulfate d'aluminium



- comme la molécule est négative aux pH généralement constatés dans les eaux destinées à la consommation humaine, l'adsorption sélective du glyphosate donne de bons résultats :

Ainsi des adsorbants actifs ont été mis en œuvre, notamment le charbon actif activé par du cuivre qui présente un potentiel d'adsorption de 6,6 mg/g de CAG. La biolite<sup>49</sup> activée par du fer (à 6,4 mg de fer ferrique/g de biolite) permet une bonne absorbance, comparable à celle obtenue avec du charbon actif pour traiter l'atrazine.

<sup>49</sup> La biolite est une argile cuite concassée

## 6. Traitements qui transforment pour mieux retirer les composés

En traitement de l'eau, seule l'action de l'ozone transforme une partie du COD en CODB. Ce **CODB** est ensuite éliminé dans les filtres à **charbons actifs en grain**.

Les réacteurs à CAP ne permettent toutefois une telle combinaison : le temps de séjour du CAP dans le réacteur (de un à trois mois) est trop court pour permettre la sélection d'un consortium de micro-organismes dans le filtre aptes à biodégrader du CODB.

## 7. Traitements de transformation qui laissent les entités formées présentes dans l'eau traitée

- les filtres à charbon actif peuvent être à l'origine de transformations de molécules beaucoup plus hydrophiles (car la biodégradation aérobie induit des groupements C=O, C-OH, C=O(OH) qui augmentent leur solubilité dans l'eau).

C'est la raison pour laquelle le ministère de la santé précisait dans les agréments de ces filières, que les charbons actifs en grains devaient être remplacés ou régénérés tous les 12 à 18 mois.

En effet, les filtres à charbons actifs en grain permettent d'éliminer le CODB généré à partir du COD, par une étape d'ozonation de l'eau avec un résiduel d'environ 0,4 mg/L O<sub>3</sub> et 4 minutes de contact réel.

Mis à part les réactions avec les dérivés azotés (ions ammonium, ions nitrates, fer et manganèse divalents), la biodégradation est une réaction lente. Dans les traitements d'eau destinée à la consommation humaine, les réactions de biodégradation de composés organiques n'ont lieu que dans les filtres à charbon actif où les molécules sont retenues par adsorption. Les temps de contact molécule/biofilms sont très longs et permettent des sélections de micro-organismes (uniquement pour les CAG).

- lorsque l'eau contient des polluants ou micropolluants organiques, tous les traitements d'oxydation utilisés, conduisent à la formation de nouveaux composés.

Certains réactifs conduisent à la formation d'entités minérales par décomposition du réactif chimique : le bioxyde de chlore génère, par exemple, des ions chlorite et chlorate. Le chlore, génère des ions chlorate. La réaction de l'ozone avec les ions bromure génère des ions bromate<sup>50</sup>.

→ Les réactions secondaires induites par le chlore ont d'abord été mises en évidence par la formation de THM puis de dérivés chlorés de l'acide acétique, de l'acétonitrile : à ce jour, plus d'une centaine de composés ont été identifiés.

→ Avec l'ozone, des aldéhydes, des cétones, des acides, des composés sulfonés ou nitrosés sont formés. À l'inverse des composés à liaison C-O qui sont plus biodégradables, les composés sulfonés et nitrosés sont beaucoup plus stables à la biodégradation que la molécule mère.

Les réactions radicalaires, dites d'oxydation avancée, visent surtout les liaisons C-O, C-N, C-S, C-X et conduisent à de nouvelles molécules.

→ L'ozone seul, avec un résiduel de 0,4 mg/L et après 4 minutes de contact réel, n'agira que sur certaines de ces molécules, surtout les aromatiques (l'ozone provoque une ouverture du cycle aromatique et la formation d'aldéhydes, cétones et acides).

<sup>50</sup> Sachant que la limite de qualité des ions bromate est 10µg/l, une vigilance s'impose dès lors que l'eau à traiter contient suffisamment d'ions bromure si les conditions de formation sont favorables : résiduel d'ozone, température.

→ En revanche, à doses plus élevées ou en couplage - O<sub>3</sub>/UV (Ozone-UV), O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Ozone-eau oxygène) - de très nombreux composés sont générés. En conséquence, ces traitements sont interdits en France sauf s'il s'agit d'éliminer des solvants chlorés à 1 ou 2 atomes de carbone car les produits de dégradation sont bien identifiés. Dans ce cas, l'autorisation préfectorale n'est accordée que si l'eau ne contient aucun autre micropolluant organique (le risque d'apparition de sous-produit est maîtrisé).

- Outre l'oxydation, la photolyse est aussi un moyen d'avoir des réactions radicalaires

Ces réactions sont très importantes pour des lampes dont les longueurs d'onde sont inférieures à 230 nm, c'est la raison pour laquelle les réacteurs UV à vapeur de mercure moyenne pression doivent impérativement avoir une gaine qui coupe toutes les longueurs d'onde < 230 nm (on évite ainsi la formation de sous-produits).

Les couplages UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (UV, eau oxygénée), UV/O<sub>3</sub> (UV, ozone), UV/ TiO<sub>2</sub><sup>51</sup> (UV, oxyde de titane) (anatase) sont aussi interdits, même lorsque les lampes respectent l'absence d'émission de longueur d'onde < 230 nm (sauf pour le traitement des solvants chlorés à 1 ou 2 atomes de carbone et sous réserve des restrictions déjà signalées).

---

<sup>51</sup> Oxyde de Titane TiO<sub>2</sub>



## VIII. Traitements particuliers

### 1. Traitements de modification de la minéralisation de l'eau

#### a. Traitements de reminéralisation

Ces traitements concernent les eaux très peu minéralisées qui pour la plupart, proviennent :

- soit de régions granitiques
- soit de régions volcaniques
- soit de régions latéritiques (certains DOM ou TOM en zone tropicale ou équatoriale)

Ces eaux peu minéralisées :

- n'ont pas de pH stables, ce qui gêne l'efficacité de la désinfection. Dans un réservoir en béton, les pH peuvent présenter des valeurs supérieures à 9
- sont très agressives<sup>52</sup> vis-à-vis du carbonate de calcium et les ouvrages à base de bétons, ciments, mortiers
- sont très corrosives<sup>53</sup> vis-à-vis des métaux et aucun dépôt protecteur du métal à base de carbonate de calcium ou de carbonate ou hydroxycarbonate, constituant la canalisation de transport, ne peut éviter le contact direct eau/métal (et donc la corrosion)

Le principe de la reminéralisation est d'ajouter des ions calcium à l'eau, ce qui augmente le TH (titre hydrotimétrique) et des ions bicarbonate qui augmentent le TAC (Titre alcalimétrique complet).

→ **L'objectif à atteindre, pour chacun, est un TH d'au moins 8°fr et un TAC d'au moins 8°fr.**

Pour ce TH et ce TAC, le pH d'équilibre calco-carbonique est de 8 – 8,1 ce qui permet ensuite :

- une bonne désinfection de l'eau par du chlore
- une bonne protection vis-à-vis des canalisations, notamment celles en plomb (bien que ce métal soit interdit, des réseaux intérieurs en sont encore constitués), en cuivre ou en acier galvanisé.

Plusieurs voies permettent de procéder à la reminéralisation :

#### Voie 1 :

- 1.a. Rendre l'eau plus agressive, si nécessaire, en ajoutant du gaz carbonique ou éventuellement un autre acide - acide chlorhydrique (HCl) - et diminuer le pH.
- 1.b. Filtrer l'eau sur un lit de carbonate de calcium. Le matériau donnant les meilleurs résultats était le MAERL, mais l'exploitation des gisements de calcaires coraliens est désormais très réglementée. D'autres matériaux sont donc utilisés en substitution comme du marbre concassé, les anciennes installations ont dû être modifiées pour permettre des temps de contact supérieurs : le MAERL nécessitait un temps de contact eau/matériau d'environ 20 minutes, le marbre concassé nécessite une heure.

→ La quantité de gaz carbonique dissous dans l'eau (voire l'acide ajouté (HCl)) et le temps de contact permettront d'obtenir le TH et TAC voulus. C'est un traitement passif, surtout si l'eau est naturellement agressive.

<sup>52</sup> L'eau agressive va dissoudre le carbonate de calcium

<sup>53</sup> L'eau corrosive va dissoudre les métaux, la corrosion suit les effets d'une eau agressive qui aura mis à nu les surfaces métalliques des parois intérieures des tuyaux.

### **Voie 2 :**

- 2.a. Rendre l'eau plus agressive, si nécessaire, en ajoutant du gaz carbonique. Dans ce cas, il faut impérativement du CO<sub>2</sub> dissous, sinon il n'y aura pas d'ajout de bicarbonates.
- 2.b. Ajouter ensuite de l'eau de chaux dans une quantité permettant d'obtenir le TH et TAC voulus.

### **Voie 3 :**

- 3.a. Pour des eaux de surface, la coagulation et la pré-ozonation ne sont efficaces qu'en présence de calcium (TH= environ 5°fr), il est donc nécessaire de procéder à une pré-reminéralisation en tête de ces traitements par ajout de CO<sub>2</sub> ou d'un acide (HCl ou H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) et du lait de chaux. Dans une coagulation avancée, l'acide servira aussi à obtenir un pH faible, de 5 – 5,5 (abaissement du pH).
- 3.b. Après l'étape de séparation (décantation ou flottation), du CO<sub>2</sub> est ajouté ainsi que de l'eau de chaux pour obtenir le TH et le TAC voulus.

Mais bien souvent, si l'eau est incrustante à ce niveau du traitement (en amont de la filtration), elle sera rendue légèrement agressive (par acidification) pour éviter une prise en masse des filtres. La correction du pH ne se fait qu'en fin de traitement, après l'étape de désinfection. La remise à l'équilibre calco-carbonique, bien qu'elle puisse se faire à l'eau de chaux, est préférentiellement réalisée par ajout de soude afin d'éviter une augmentation de la turbidité.

Une attention toute particulière sera portée à la dilution de la solution de soude à injecter, la solution sera réalisée à l'aide d'une eau dépourvue de calcium (dans bien des cas, une eau adoucie sur résines cationiques fortes).

### **Voie 4 :**

- 4.a. Dans des cas très particuliers, pour des petites communes où lorsqu'il est difficile d'avoir sur place du gaz carbonique (certains DOM ou TOM), des dérogations peuvent être accordées à certaines techniques de reminéralisation non agréées : la méthode consiste à ajouter, dans des proportions données pour atteindre le TH et le TAC voulus, du chlorure de calcium et du bicarbonate de sodium voire éventuellement pour certaines eaux, du carbonate de sodium. Attention toutefois, dans ces eaux seront donc rajoutés :

- Des ions calcium
- Des ions bicarbonate
- Mais aussi des ions chlorure et des ions sodium

## **b. Traitements de déminéralisation**

Les traitements de dessalement de l'eau ne sont pas traités dans ce chapitre, seuls sont abordés des traitements permettant de réduire la dureté de l'eau : élimination du calcium et dans certains cas, du calcium et du bicarbonate. Plusieurs voies sont possibles :

- les traitements membranaires de nano-filtration : Ces membranes sont d'ailleurs appelées dans certains pays, membranes d'adoucissement. La nano-filtration retient sélectivement les ions divalents. Cette technique très sophistiquée n'est pas adaptée aux petites installations de production d'eau. Ce traitement permet aussi l'élimination des ions sulfate (qui le sont difficilement avec les traitements de décarbonatation physico-chimique)
- les traitements physico-chimiques de décarbonatation : Le principe de ces traitements est de remonter le pH à un niveau supérieur à 8,3 pour transformer les ions bicarbonate en ions carbonates. Ces derniers réagissent avec les ions calcium pour donner du carbonate de calcium insoluble

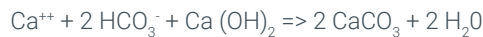
Afin d'activer ces phénomènes, du micro-sable est ajouté à l'eau dans un réacteur cylindro-conique à lit fluidisé où les grains de sable servent de germes de cristallisation. De petites perles de carbonate de calcium se forment dans le réacteur. L'eau est ensuite réacidifiée (afin de devenir agressive) avant sa filtration (sinon le massif filtrant pourrait se prendre en masse). En fin de traitement l'eau est remise à l'équilibre calco-carbonique.

→ Ce traitement sera donc qualifié de traitement actif avec des risques d'erreurs humaines importants.



→ Deux procédés permettent de rendre l'eau entartrante :

1. Par ajout de lait ou d'eau de chaux générant ainsi une baisse identique du nombre d'ions calcium et d'ions bicarbonates présents dans l'eau :



2. Par ajout de soude, dans ce cas le TAC ne sera réduit que de moitié et des ions sodium sont introduits dans l'eau :



- les traitements d'adoucissement par utilisation de résines cationique fortes : ces traitements sont faciles d'utilisation et sont autorisés à domicile. Les ions calcium sont échangés au droit des résines par des ions sodium, la teneur en bicarbonate des eaux traitées ne change donc pas : ces eaux sont agressives.
- comme les résines permettent l'échange de la totalité du calcium, il est impératif de mélanger une partie de l'eau traitée avec de l'eau non adoucie, afin d'obtenir un TH final de 15°fr environ.

## 2. Traitements particuliers applicables aux eaux de surface susceptibles de contenir des cyanobactéries

Ce paragraphe concerne les eaux issues de barrages réservoirs ou de lacs, éventuellement les eaux de rivières dont le débit a été artificiellement ralenti (par exemple, pour des voies d'eaux navigables), des biefs où la vitesse d'eau est très faible (notamment en canaux navigables). Ces eaux ont la particularité de présenter de faibles turbidités et de subir des crues algales : algues vertes, diatomées mais surtout de cyanobactéries.

Les cyanobactéries sont des microorganismes qui ont toutes les caractéristiques des bactéries, ils sont d'ailleurs aujourd'hui classés comme telles. Mais ils présentent aussi des caractéristiques spécifiques aux algues, notamment le fait de produire de la chlorophylle A et de réaliser une photosynthèse avec production d'oxygène. Dans le passé, ces micro – organismes étaient assimilés à des algues (les algues bleues).

Ces microorganismes ont plusieurs particularités :

- ils ne consomment pas de nitrates (comme les algues) et sont capable d'utiliser l'azote dissous dans l'eau
- ils ont besoin de phosphates et sont en outre dotés d'un système de ballasts plus ou moins allégés par de l'air qui leur permet de se maintenir à des niveaux différents dans les colonnes d'eau, notamment les niveaux riches en phosphates
- cette capacité de réguler leur flottation conduit à des proliférations (Crues algales, fleurs d'eau, bloom) à différents niveaux d'une colonne d'eau

Les principales cyanobactéries retrouvées dans les eaux douces sont :

- *Nodularia*
- *Anabaena*
- *Aphanizomenon*
- *Plankothrix*
- *Microcystis*

### Effets de ces proliférations :

À la surface de l'eau se forment des amas flottants assimilables à une pollution par déversement de peinture de couleur verte. Lorsque les proliférations apparaissent en profondeur, l'eau prend une coloration verte inhabituelle. La mortalité des poissons ou des oiseaux aquatiques est un signe de présence de cyanobactéries. Ainsi que l'intoxication de bétail domestique ou sauvage par ingestion de l'eau.

Ces micro – organismes ont la particularité de se développer même à basses températures (des "blooms" de cyanobactéries ont été constatés dans des eaux à 4°C).

## Risques dus à la présence dans l'eau de ces micro – organismes :

Ces cyanobactéries produisent des endotoxines (libérées quand le micro – organisme meurt et se décompose), notamment :

- des hépatotoxines
- des neurotoxines
- des dermatotoxines

Les populations naturelles de cyanobactéries sont des mélanges de cellules génétiquement différentes qui contiennent plus ou moins de toxines. En moyenne, plus de 50% des "blooms" de cyanobactéries contiennent des toxines. Toutes ces toxines ont des masses qui varient de 80 à 1000g/mol et sont toutes solubles dans l'eau.

Le tableau 29. suivant donne les toxines et les micro – organismes les émettant.

CLASSE DE TOXINES	TOXINES PRODUITES	TYPES DE CYANOBACTÉRIES
Hépatotoxines (Peptides)	Microcystines Nodularine	<i>Microcystis aeruginosa.</i> <i>Microcystis viridis.</i> <i>Microcystis wesenbergli.</i> <i>Oscillatoria agardhii.</i> <i>Oscillatoria agardhii var.</i> <i>Isothrix sp.</i> <i>Nostoc sp.</i> <i>Anabaenopsis milleri.</i> <i>Nodularia spumigena</i>
Neurotoxines (Alcaloïdes)	Anatoxines a. Hoanatoxine. Anatoxine a (s)	<i>Anabaena circinalis.</i> <i>Anabaena flos aquae.</i> <i>Anabaena lemmermannii.</i> <i>Anabaena spiroides.</i> <i>Oscillatoria sp.</i> <i>Aphanizomenon flos aquae.</i> <i>Cylindrospermum sp.</i> <i>Oscillatoria rubescens.</i> <i>Anabaena flos aquae</i>
Cytotoxines (Alcaloïdes)	Cylindrospermopsine	<i>Cynclindrospermopsis raciborskii.</i> <i>Umezokia natans.</i>

## Références normatives

[La directive Européenne de 1998](#) reprise par le code de la santé publique, n'a pas fixé de limite de qualité pour ces toxines. Mais après la parution de la directive, l'OMS a fixé une limite pour la microcystine LR à 1 µg/L. La France quant à elle, a fixé une limite de qualité pour la totalité des **microcystines** à 1µg/L.

Des **anatoxines** ont également été retrouvées dans des plans d'eau, l'ANSES consultée par le ministère de la santé a alors proposé de leur attribuer une valeur limite de 3 µg/L.

Le dosage de ces toxines est effectué au moyen de méthodes de référence telles que la chromatographie voire des méthodes immunoenzymatiques à réponse rapide (pour les microcystines et les anatoxines). Ces méthodes sont aussi intéressantes pour le suivi de la qualité de l'eau lors de "blooms" de cyanobactéries.

Le tableau 27. suivant donne les concentrations en toxines qui peuvent être retrouvées dans les eaux, en fonction du nombre de micro – organismes présent dans 1mL d'eau.

MICRO - ORGANISME	NOMBRE DE CELLULES PAR ML D'EAU	CONCENTRATION EN TOXINE EN µG/L.
<i>Microcystis aeruginosa</i>	2 000	1µg/L de microcystine LR
<i>Nodularia spumigena</i>	20 000 à 40 000	1µg/L de nodularine
<i>Anabaena Circinalis</i>	20 000	3µg/L de saxitoxine

### 3. Traitements d'élimination des cyanobactéries

Comme les toxines sont des endotoxines, il est impératif de ne pas tuer les micro-organismes mais de les retirer de l'eau vivants. En conséquence, seules les étapes de rétention seront utilisables.

Les différentes étapes de traitement sont passées en revue en précisant pour chacune d'elles, les impératifs à respecter et les rendements de la rétention.

- Pré traitements au niveau du stockage de l'eau (ressource)

Bien souvent pour éviter les proliférations algales, la ressource est traitée par ajout de sulfate de cuivre. Mais dans le cas des cyanobactéries, cette méthode est à bannir car elle provoquerait une libération massive de toxines en cas de "bloom".

- Pré traitements physiques en tête de traitement : Si le dégrillage et le tamisage sont sans effet, le déshuilage et surtout le micro tamisage à 35 µm permettent d'éliminer de 40 à 70% de ces microorganismes
- La clarification physico – chimique, biologique ou physique (par utilisation de membranes d'UF<sup>54</sup>) sont des étapes de choix pour la rétention de ces microorganismes.

Pour les traitements de clarification physico – chimique, les doses de coagulant doivent être optimisées : le dosage doit être ajusté à un potentiel Zéta<sup>55</sup> nul. Comme les cyanobactéries sont vivantes, elles produisent de l'oxygène (par photosynthèse), la flottation donnera donc de meilleurs résultats que la décantation.

→ À noter que les masses d'eau plus ou moins stagnantes, avec de faibles turbidités, correspondent au domaine d'application de la flottation.

Le tableau **28.** suivant donne les rendements de la rétention :

TYPE DE CLARIFICATION	ABATTEMENT EN LOGS. (1 LOG = DIVISION PAR 10, 2LOGS = DIVISION PAR 100)
Filtration directe sans ajout de réactifs	0
Coagulation sur filtre	1
Coagulation – floculation – décantation – filtration	2
Coagulation – floculation – flottation – filtration	2,5
Ultra filtration membranaire	4

Dans le cas d'une clarification physico – chimique avec décanteur statique ou à lit de boues, les boues ne devront pas rester plus de 48 heures dans les ouvrages.

En outre, lors de la filtration située en aval, les eaux de lavage des filtres ne doivent pas être recyclées en tête de filtration pendant ces périodes de "blooms" de cyanobactéries (observés dans les eaux brutes).

Il en est de même pour les traitements membranaires si les eaux de lavage à contre-courant sont chlorées (le désinfectant tue les cyanobactéries qui libèrent ensuite leurs endotoxines, en cas de recyclage des eaux de lavages, ces endotoxines se retrouveront dans l'eau).

Enfin, avant une étape de désinfection utilisant un biocide chimique, les cyanobactéries devront avoir été retirées de l'eau au maximum (Chlore, bioxyde de chlore, ozone ou un biocide physique : rayonnements UV).

<sup>54</sup> UF : ultra filtration

<sup>55</sup> Le potentiel Zéta : traduit la charge apparente d'un colloïde (la charge du colloïde lorsque l'on ne tient pas compte des ions solubles de charge opposée, qui se lient à lui)

## 4. Élimination des toxines

Ces toxines peuvent être déjà présentes dans les eaux brutes ou être libérées, même en très faible quantité, lors du traitement des eaux.

Les toxines sont solubles dans l'eau. Leur demi-vie biologique est de 8 à 10 jours, elles ne pourront donc pas être biodégradées. Leurs produits de dégradation ne sont en outre pas connus.

Ces toxines sont des molécules à doubles liaisons, donc l'ozone agira mais en générant des produits de dégradation non identifiés dont les effets toxicologiques ne sont pas connus. Les traitements de transformation ne sont donc pas conseillés pour l'élimination de ces composés.

Les seuls moyens d'éliminer ces toxines sont les étapes de rétention. Attention toutefois, si les toxines de cyanobactéries sont solubles dans l'eau, leur adsorption est assez lente.

Le tableau **27**. suivant donne l'efficacité d'élimination des toxines de différentes étapes de traitement.

ÉTAPES DE TRAITEMENT	ÉLIMINATION DES TOXINES
Clarification physico – chimique : adsorption sur le floc.	0%
Clarification physique : adsorption sur les membranes d'UF	0%
Rétention par membrane de nano filtration	99%
Clarification biologique : adsorption sur les biofilms	80%
Adsorption sur CAP en tête de traitement : 15 ppm	80%
Adsorption sur filtres à CAG : temps de contact $\geq$ 15 minutes	85%
Adsorption sur CAP : réacteurs à CAP : temps de contact $\geq$ 30 minutes	90%

Comme l'adsorption des toxines est assez lente :

- le traitement par ajout de CAP en tête, nécessite d'utiliser des dosages élevés et à adapter à l'installation. Toutefois ces toxines sont accompagnées de cyanobactéries, il est alors difficile d'augmenter le temps de contact eau/boues lors du traitement au risque de tuer les micro-organismes et libérer de nouvelles toxines
- pour les filtres ou réacteurs à charbon actif, plus les temps de contact seront élevés, meilleure sera la rétention
- les charbons actifs devront être des charbons actifs activés thermiquement avec une surface spécifique  $> 1000 \text{ m}^2/\text{g}$  et un indice d'iode  $> 950$

## IX. Paramètres de maîtrise de ces étapes de traitement

L'auto-surveillance<sup>56</sup> est abordée dans [l'article R. 1321-23](#) du CSP<sup>57</sup>. Aucun programme d'analyse n'est spécifié, il est simplement mentionné que "la personne responsable de la production ou de la distribution de l'eau est tenue de surveiller en permanence la qualité des eaux destinées à la consommation humaine."

En théorie, la fréquence des analyses d'auto surveillance doit être adaptée à la vulnérabilité de la ressource (identification et fréquence d'occurrence des dangers) et aux étapes de traitement : étapes passives, étapes actives (avec risques d'erreurs humaines ou de dysfonctionnement).

Le code précise ensuite que cette surveillance comprend notamment :

1. une vérification régulière des mesures prises par la personne responsable de la production ou de la distribution d'eau pour la protection de la ressource utilisée et du fonctionnement des installations
2. un programme de tests et d'analyses effectués sur des points déterminés en fonction des dangers identifiés que peuvent présenter les installations
3. la tenue d'un fichier sanitaire recueillant l'ensemble des informations collectées à ce titre.

La définition du programme d'auto-surveillance (Paramètres et fréquences d'analyses) est donc de la responsabilité du producteur-distributeur d'eau (PRPDE) et pour connaître la variabilité des paramètres, il faut respecter les principes suivants :

- identifier tous les éléments présents dans les eaux prélevées : Lors de la première analyse en vue d'utiliser une eau souterraine (ou une eau de surface), un laboratoire agréé doit être mandaté pour effectuer une analyse complète regroupant tous les paramètres prévus par la réglementation en vigueur (limites et références de qualité)
- connaître la variabilité de l'ensemble de ces paramètres (s'ils sont détectés)

Il sera alors nécessaire :

- **pour des eaux brutes issues de nappes souterraines vraies** (nappes profondes ou nappes phréatiques) de procéder à des prélèvements pour analyses. Les analyses effectuées par le laboratoire agréé porteront sur tous les paramètres prévus par la réglementation en vigueur.

Les prélèvements seront effectués au débit maximal d'utilisation de l'ouvrage (forage) et après 24 heures de pompage en continu (au moins). Il faut en outre préciser que si à long terme, le débit maximal d'utilisation variait, il est impératif de considérer le forage comme un nouvel ouvrage.

En fonction des paramètres identifiés lors de cette première analyse, un suivi de la qualité de l'eau pendant au moins 6 mois, à raison d'une analyse par mois, permettra de mieux connaître leur variabilité et de prévoir les étapes de traitement nécessaires pour rendre l'eau conforme à la réglementation en vigueur. Il faut préciser que pour les eaux souterraines vraies mais impactées par une pollution aux ions nitrate, l'augmentation annuelle des concentrations peut être d'environ 2 à 3 mg/L de nitrates.

- **pour des eaux brutes issues de nappes alluviales**, présentant deux modes d'alimentations différentes, deux analyses complètes sont à effectuer, l'une en période de hautes eaux (alimentation par la rivière), l'autre en période de basses eaux (alimentation par le coteau). Ensuite, suivant les paramètres identifiés lors de ces analyses, un suivi pendant au moins 6 mois, à raison d'une analyse par mois, permettra de mieux connaître leur variabilité et de prévoir les étapes de traitement à adopter pour que l'eau soit conforme à la réglementation en vigueur
- **pour des eaux brutes souterraines influencées par des eaux de surface** (qui sont à considérer comme des eaux de surface), 2 à 3 analyses complètes sont à réaliser : l'une en période de sécheresse (alimentation par le réseau souterrain), les autres (1 voire 2 ou 3) en période de forte pluviosité (alimentation par l'eau de ruissellement mal filtrée par le sol)

Ensuite, en fonction des paramètres identifiés lors de ces analyses, un suivi pendant au moins 6 mois, à raison d'une analyse par mois, permettra de mieux connaître leur variabilité et d'adapter les étapes de traitement pour rendre l'eau conforme à la réglementation en vigueur.

<sup>56</sup> Attention l'auto surveillance s'ajoute au contrôle réglementaire et ne s'y substitue pas.

<sup>57</sup> Code Santé Publique

Si **une clarification physico-chimique** est prévue, la connaissance des variations de la turbidité de l'eau brute permettra le choix du système de séparation des floccs.

En effet, l'étape de **décantation statique classique** ne fonctionne bien que pour des turbidités > 2 – 3 NFU, pour des turbidités plus faibles il faudra s'orienter sur des systèmes statiques à floc lesté ou des systèmes dynamiques à lit de boues.

La **coagulation sur filtre** ou la **filtration biologique lente classique** ne pourront garantir une eau filtrée à une turbidité < 0,5 NFU en permanence que si la turbidité de l'eau brute ne dépasse pas 10 NFU ou 15 NFU pendant une très courte durée. En revanche ces deux dernières étapes sont adaptées au traitement d'eaux présentant de faibles turbidités.

**La flottation** ne présente pas de difficulté pour des eaux de faibles turbidités, mais pour des fortes valeurs, une limite de 60 NFU ne doit pas être dépassée.

**Les systèmes membranaires d'ultrafiltration**, pour leur part, n'acceptent en mode frontal que des turbidités < 50 NFU, ou 100 NFU pour les systèmes en mode tangentiel.

Le fait de connaître le niveau de contamination de l'eau en micro-organismes pendant les pics de turbidité (notamment la détection éventuelle de *Cryptosporidium*) constitue également une information importante.

- **pour les eaux brutes issues de lacs ou de barrages réservoir**, 3 à 4 analyses complètes sont à effectuer : deux en période de sécheresse, en surface et en profondeur et deux autres en période de forte pluviosité, en surface et en profondeur. Si la profondeur du point de prélèvement de l'eau est connue, les quatre analyses sont à réaliser en ce point (une à chaque saison).

En fonction des paramètres identifiés lors de ces analyses, un suivi d'au moins 6 mois, à raison d'une analyse par mois, à chaque niveau de profondeur (surface et profondeur) permettra de mieux connaître la variabilité et de prévoir les étapes de traitement à adapter pour rendre l'eau conforme à la réglementation en vigueur.

En outre pour ce type d'eau, il est important de savoir si la réserve subit (ou a d'ores et déjà subi) des crues algales ou de cyanobactéries.

- **pour les eaux de rivières**, 3 à 4 analyses complètes, soit tous les 3 mois, soit tous les 4 mois sont à effectuer. Ensuite, en fonction des paramètres identifiés lors de ces analyses, un suivi pendant au moins 12 mois, à raison d'une analyse par mois, permettra de mieux connaître leur variabilité et d'adapter les étapes de traitement pour rendre l'eau conforme à la réglementation en vigueur.

Enfin, dans ce cas, il est important de savoir d'une part si la rivière présente des crues algales, et d'autre part s'il existe des risques de pollutions accidentelles. Les informations figurent en théorie dans l'étude de la vulnérabilité de la ressource qui précède l'avis de l'hydrogéologue où figurent les propositions de périmètres de protection.

**En fonctionnement**, la fréquence de suivi de la qualité de l'eau brute est à adapter à chaque étape du traitement. Les paramètres ainsi suivis permettront de juger du bon fonctionnement du traitement, le suivi peut en outre être complété de paramètres "critiques" indiquant une non-conformité.

→ L'auto surveillance va permettre de disposer de mesures, de résultats d'analyses ou d'indications données par des capteurs. Tant ces indications, ces mesures que les analyses constituent des outils qui doivent permettre de prendre une décision rapide. En conséquence, pour chaque paramètre, le type, la fréquence et surtout la méthode d'analyse utilisée seront adaptés à la réactivité nécessaire en cas de non-conformité dudit paramètre.

En outre, il faut que l'outil de mesure soit utilisable par l'exploitant de l'installation. De ce fait, si le paramètre varie :

- à une fréquence **pluriannuelle** : aucune analyse d'auto surveillance ne sera prévue, seuls les résultats des analyses du contrôle officiel seront utilisés
- à une fréquence **annuelle** : deux analyses par an suffisent et par ailleurs, il n'y a pas de contrainte particulière à respecter sur le délai de réponse analytique. Par exemple, l'augmentation de la teneur en ions nitrate augmente généralement, dans le plus mauvais des cas, de 2 à 3 mg /L de nitrates par an, mais si cette teneur approche la norme (50mg/l), un suivi plus fréquent voire quotidien peut être nécessaire pour prévoir, le cas échéant, une dilution par une ressource moins contaminée

- à une fréquence **mensuelle**, deux analyses par mois suffisent ; il n'y a en outre pas de contrainte particulière sur le délai de réponse analytique
- à une fréquence **hebdomadaire**, deux analyses par semaine suffisent, il n'y a pas de contrainte sur le délai de réponse analytique si le résultat est donné dans les 2 jours qui suivent le prélèvement
- à une fréquence **journalière**, deux analyses par jour suffisent, il n'y a pas de contrainte particulière sur le délai de réponse analytique, si le résultat est donné dans la demi-journée
- à une fréquence **horaire**, dans ce cas il est important d'avoir, soit des réponses dans la demi-heure (par exemple à l'aide de kits de dosage rapide), soit des capteurs en continu qui transmettent l'information en temps réel

→ En micro-biologie, les délais de réponse analytiques sont bien supérieurs à la demi-heure, en conséquence en production d'eau, les analyses microbiologiques d'auto surveillance consistent en des vérifications indirectes de l'efficacité de l'étape de clarification – désinfection : mesure de la **turbidité**, du **chlore libre** après un temps de contact donné, du **pH** et de la **température**.

Connaître en permanence la qualité de l'eau peut nécessiter des asservissements d'injection de réactifs (par exemple, asservissement d'une injection d'acide pour avoir un pH donné), l'usage de détecteurs de niveau (déclenchement du nettoyage des grilles), des capteurs de pression (déclenchement d'un lavage de filtre), des capteurs analytiques, des compteurs (ajout d'une quantité de réactif en fonction du débit de l'eau à traiter).

→ **Tout capteur dont l'indication ne permet pas à l'exploitant de prendre une décision précise, voire rapide, sur le traitement de l'eau ne nécessite pas d'être reporté en temps réel à l'exploitation.**

→ Par exemple la réponse d'un capteur de toxicité globale, mettra l'exploitant dans l'embarras car il ne saura pas quelle décision prendre, un capteur plus spécifique (COT, hydrocarbures, etc) sera en revanche plus pertinent.

### **Les capteurs peuvent être classés en 2 catégories :**

**Les capteurs critiques :** Les données issues de ces capteurs sont d'un intérêt primordial pour maîtriser la qualité de l'eau : il s'agit par exemple de capteurs de niveau pour le dégrillage d'eaux brutes, un compteur d'eau à l'entrée de l'installation sur lequel est asservi l'ajout des réactifs, la mesure de la turbidité de l'eau filtrée ou de l'eau en amont de l'étape de désinfection, la mesure du pH en fin de traitement, la mesure du chlore libre et du chlore total en fin de traitement, etc.

Ces capteurs doivent donner une valeur exacte, ils doivent donc être étalonnés et régulièrement vérifiés. Tous les réglages doivent être mentionnés dans le carnet sanitaire. Lorsque la production d'eau est assortie d'une certification qualité ISO 9001 ou ISO 22000, le périmètre de certification doit inclure tous ces capteurs critiques.

En outre l'exploitant doit pouvoir disposer, sur place, de toutes les pièces de rechange en lien avec ces capteurs car les modifications de la qualité de l'eau, du débit de pompage, de l'encrassement d'un filtre peuvent varier à l'échelle horaire. Dans les DOM et les TOM, les délais de livraisons rendent difficiles l'approvisionnement en pièces de rechange, en conséquence, il est plus simple de ne disposer, pour un paramètre donné, que d'une seule marque<sup>58</sup> et d'un seul modèle de capteur afin de pouvoir disposer, dans les meilleures conditions possibles d'un stock de pièces de rechange.

Si les indications des capteurs, sont asservies à des alarmes, elles doivent pouvoir être transmises à l'exploitant et au personnel d'astreinte.

**Les capteurs relatifs :** Les données issues de ces capteurs sont des valeurs relatives qui mettent en évidence des variations de la qualité de l'eau. La valeur donnée n'a en elle-même pas de signification particulière, en

<sup>58</sup> Pour uniformiser les types de capteurs, il est conseillé de ne pas les intégrer aux marchés de construction d'une nouvelle usine et de procéder à un marché indépendant et adapté à ce type de commandes.

revanche la variation permet de déduire une information importante. Cela concerne par exemple les capteurs de turbidité installés sur une eau décantée : Une variation de la turbidité alerte l'exploitant d'une panne d'injection de réactif, d'une panne des agitateurs mécaniques des coagulateurs et/ou floculateurs, de variations de la qualité de l'eau brute ou de problèmes d'injection du micro sable ou de pulsation, voire des lamelles. Une telle information donne à l'exploitant le temps de réagir avant que l'eau filtrée soit non conforme. Ces capteurs nécessitent donc moins d'attention que les capteurs critiques.

## 1. Pré traitements physiques

Les capteurs permettant de détecter des variations de la qualité de l'eau brute présentent un réel intérêt. Généralement il s'agit de capteurs relatifs sauf s'ils sont associés à un asservissement (par exemple la pré ozonation nécessite de connaître la teneur en COT de l'eau laquelle peut être connue indirectement soit par une mesure de l'absorption UV à 254 nm, soit par mesure de la fluorescence obtenue après irradiation à 254 nm).

Les principaux capteurs relatifs utilisés sont des capteurs de mesure :

- du pH
- de la conductivité de l'eau
- de la teneur en oxygène dissous et/ou le potentiel redox
- de l'absorption UV ou la fluorimétrie à 254 nm
- de la turbidité
- éventuellement une mesure indirecte de la teneur en hydrocarbures

→ **Le comptage de l'eau constitue un capteur critique.**

Le point critique à surveiller au niveau des pré traitements physiques (le dégrillage, le tamisage, le micro tamisage), est le colmatage qui, s'il n'est pas maîtrisé, peut conduire à une diminution du débit d'eau entrant dans l'usine voire un arrêt total.

Le colmatage

Il faut donc :

- en systèmes manuels, prévoir une fréquence de visites et d'intervention en fonction des risques d'encrassement (notamment la vitesse d'encrassement en crue par exemple)
- en système automatisé : s'assurer du bon fonctionnement des capteurs (il s'agit généralement de capteurs critiques) lesquels permettent de vérifier le bon fonctionnement de l'usine

Ensuite, si le dessablage et le déshuilage sont effectués au sein d'un même ouvrage, la vidange des sables doit être programmée à une fréquence telle que les dépôts en fond d'ouvrage n'augmentent pas la vitesse de l'eau de façon trop importante. En effet, au-delà d'une certaine valeur (qu'il faut connaître au moment du dimensionnement de l'ouvrage) la vitesse de l'eau peut (par réduction trop importante de la section d'écoulement) entraîner des sables ou détériorer la séparation des flottants.

La vidange  
des sables

→ Les micro sables entraînés dans l'eau sont des abrasifs pour les pompes.

Ces étapes conduisent à la production de déchets qui devront être traités et évacués conformément à la réglementation en vigueur (Code de l'environnement). Le producteur d'eau reste responsable de leur devenir.



## 2. Traitements de clarification des eaux

### a. Clarification physico-chimique

Les prétraitements concernent :

- **la pré ozonation** pour les eaux peu minéralisées et riches en matières organiques (acides humiques mesurés par le COT). La dose d'ozone varie entre 0,2 et 0,25 mg d'ozone par mg de COT. Si la dose d'ozone est trop élevée, le COT devient plus soluble et donc moins éliminable par clarification. Il faut donc anticiper les variations de COT (par des analyses de l'eau brute à traiter) notamment lorsque le paramètre varie en fonction de crues ou de la hauteur d'eau au droit du pompage (pour les barrages réservoirs). Un capteur étalonné en équivalent COT répond à cet objectif (détecteur UV ou fluorimétrique)

La mesure de COT

La quantité d'ozone à ajouter à l'eau sera asservie au débit à traiter par le comptage de l'eau entrante (débitmètre) et la mesure de la concentration en ozone de l'air ozoné injecté

- **l'acidification** de l'eau à un pH donné : 5,5 par exemple  
Un capteur de pH permettra de réguler l'ajout d'acide. Son positionnement et son entretien conditionneront le fonctionnement de la régulation. En outre si c'est une régulation en retour (la mesure de pH se fait en aval de l'injection), le comptage de l'eau n'est pas nécessaire

La contrôle du pH

- **la préminéralisation** à ce stade du traitement, la quantité de calcium à ajouter n'est pas nécessairement précise (TCa aux environs de 5°fr), il suffit de s'assurer que le réactif aboutit dans l'eau à traiter (surtout si de l'eau de chaux est injectée car les canalisations de transfert pourraient s'obstruer) en quantité suffisante (par mesure de la concentration en lait de chaux, du débit du réactif et du débit d'eau à traiter)

La contrôle de l'injection du calcium

Dans le cas d'une coagulation avancée, la baisse du pH (par injection d'acide) et l'ajout de calcium sont concomitants, la régulation est alors bâtie sur la mesure et une consigne du pH aux environs de 5,5

- **l'ajout de charbon actif** en poudre à une concentration donnée nécessite plusieurs contrôles : connaître la concentration de suspension en CAP (mélange eau et CAP appelé Barbotine), s'assurer de son homogénéité et vérifier que les canalisations de transfert ne sont pas bouchées. Si le CAP a été activé chimiquement, la barbotine de CAP sera produite avec de l'eau sans calcium (une eau adoucie si l'eau à traiter a un TH > 6°fr). Enfin la connaissance en temps réel du débit d'eau à traiter est importante pour réguler le cas échéant l'injection de barbotine

Le débit d'eau et la mesure du taux de CAP

### b. Coagulation

La coagulation de l'eau consiste à ajouter à l'eau un coagulant à une concentration donnée en assurant leur mélange le plus rapidement possible.

Il faut donc :

- connaître le **débit d'eau à traiter** (par un débitmètre)
- connaître la **concentration de la solution** de réactif à ajouter
- s'assurer que la solution de réactif arrive dans l'eau, au bon débit. Certains réactifs sont ajoutés directement dans l'eau (produit brut livré comme le chlorure ferrique, le pré polymères d'aluminium). Le contrôle se fait par contrôle de la densité du produit à la réception du conteneurs (ou taux de matière active). Par contre le sulfate d'aluminium est vendu sous forme solide :  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$ , il faudra donc créer la solution à injecter et vérifier la concentration de la solution diluée puis injectée.
- s'assurer que le mélange soit le plus rapide possible. S'il s'agit d'un coagulateur passif (Chicane ou Venturi par exemple), il n'y a pas de risque de panne. Si le coagulateur est un réacteur mécanique (agitateur), il faut s'assurer du fonctionnement des moteurs et de la rotation des pales
- le pH de l'eau peut être un paramètre important (Capteur critique) car il va conditionner la solubilité des floccs d'aluminium. La mesure du pH peut aussi être effectuée sur l'eau décantée (en sortie du traitement de clarification)

Débit d'eau, concentration de la solution de réactif, qualité du mélange

### c. Flocculation

Cette étape trouve son importance dans le fait qu'elle permet l'obtention d'un floc facilement séparable de l'eau. Le principe de la flocculation est de diminuer l'intensité du mélange (Passage d'un gradient hydraulique de 600 à 60 environ) pour que les microflocs formés à la coagulation puissent se rencontrer et s'agglomérer. Bien souvent un adjuvant de coagulation est ajouté. Pour certains réactifs, la dose injectée dans l'eau nécessite un contrôle et de la précision. C'est notamment le cas des produits de synthèse qui contiennent des monomères (libérés ensuite dans l'eau) pour lesquels la réglementation a fixé une limite de qualité. Comme le dosage de ces molécules (monomères) n'est pas satisfaisant avec les technologies actuellement disponibles, le contrôle de la concentration injectée se fait d'abord sur la base de la pureté du réactif livré (taux de matière active) puis son dosage.

Il faut donc :

- connaître **le débit d'eau** à traiter
- connaître précisément **la concentration de la solution de réactif à ajouter**
- s'assurer que la solution de réactif arrive dans l'eau, au bon débit
- s'assurer de **la baisse d'intensité de mélange**

→ Tous les capteurs mentionnés dans ces derniers traitements sont des capteurs critiques.

### d. Décantation ou flottation

Cette étape est primordiale car elle permet la séparation du floc. Plus cette séparation sera efficace, plus la filtration située en aval sera performante.

Plusieurs types de décanteurs sont utilisés : statiques, statiques avec lamelles, statiques à flocs lestés, statiques à flocs lestés et lamelles, dynamiques à lit de boues pulsés hydrauliquement, dynamiques à lit de boues pulsés hydrauliquement avec lamelles (dans l'eau au-dessus du lit de boue ou dans le lit de boue), dynamique avec boues remises en suspension mécaniquement (avec ou sans lamelles).

Tous ces ouvrages sont complétés de spécifications en lien avec la vitesse de l'eau qui y circule.

Pour assurer un bon pilotage des installations de clarification physico-chimique des eaux, l'exploitant doit disposer d'un suivi en continu de la turbidité de l'eau. Cette mesure lui permet d'être rapidement alerté d'une dérive et d'anticiper les actions correctives avant qu'il ne soit trop tard (c'est-à-dire une turbidité d'eau filtrée > à 0,5 NFU nécessitant l'arrêt de l'usine ou le by-pass de l'eau traitée). Le turbidimètre n'est pas un capteur critique mais un capteur relatif qui ne détectera qu'une dérive de la turbidité de l'eau décantée.

Suivi de la  
turbidité

Cette dérive peut s'expliquer par :

- une variation de la qualité de l'eau brute
- une modification des doses de réactifs
- des pannes mécaniques

Les principaux points critiques de la décantation sont donc :

#### **Pour les systèmes statiques :**

- la qualité du floc formé (à défaut il ne décantera pas)
- la présence d'algues vivantes qui émettent de l'oxygène gazeux (elles auront un effet de flottation sur les flocs)
- les vitesses de l'eau (l'eau en sortie contient encore des matières décantables)
- le temps de séjour des boues (qui peut dégrader l'eau en sortie)
- l'entretien des lamelles (qui peuvent s'affaisser sous l'effet du poids des boues) : en conséquence, il faut veiller à procéder à leur nettoyage régulièrement, à vérifier les assemblages des lamelles (en eaux très peu minéralisées,

très corrosives, les agrafes d'assemblage ne résistent pas très longtemps, surtout dans les DOM et TOM du fait de la température)

**Pour les systèmes statiques à floc lesté**, il faut attendre que la quantité de micro sable soit suffisante au démarrage.

**Pour les systèmes statiques lamellaires**, lorsque la turbidité de l'eau à traiter est trop élevée, les tubes inter lamelles peuvent s'obstruer (du fait d'une trop grande production de floes).

#### **Pour les systèmes dynamiques :**

- La qualité du floc arrivant
- La présence d'algues qui émettent de l'oxygène gazeux
- Les vitesses de l'eau
- Le temps de séjour des boues
- L'entretien des lamelles
- Il faut également veiller au nettoyage régulier et à la vérification des assemblages de lamelles

**Pour les systèmes à pulsations hydrauliques**, 10 à 12 heures de fonctionnement sont nécessaires au démarrage pour obtenir un lit de boue. 2 à 3 heures sont aussi nécessaires pour remettre en suspension ce lit de boue lorsque le redémarrage suit un arrêt supérieur à 8 heures.

**Pour les systèmes mécaniques**, il faut aussi attendre la constitution du lit de boue au démarrage.

**En système lamellaire**, lorsque la turbidité de l'eau à traiter est trop élevée, les tubes inter lamelles peuvent s'obstruer.

#### **Pour la flottation par air dissous (FAD)**, les principaux points critiques concernent :

- La qualité du floc
- La vitesse de l'eau dans l'ouvrage
- La pression de l'eau pour la production d'eau blanche (mélange air et eau)
- La production d'eau "blanche"
- Le pourcentage d'eau blanche
- L'élimination des boues de surface
- La présence de floes plus lourds qui tombent en fond de réacteur (décantation au lieu d'une flottation)

Les capteurs à prévoir mesurent :

- La **turbidité**
- Le **pH de l'eau**, en effet certains traitements nécessitent un pH légèrement alcalin (la nitrification dans les filtres pH > 7,3 ou de la déferrisation pH > 7,2)

Capteurs pH  
et turbidité

Pour certains traitements, la qualité de l'eau nécessite d'être modifiée en amont de la filtration. Dans ce cas, les corrections portent sur :

- Le pH
- Le potentiel redox, on ajoute du permanganate de potassium et on modifie le pH pour retirer le manganèse (au droit de la filtration)
- La baisse du pH dans le cas de décarbonatation chimique afin d'éviter que le média filtrant ne prenne en masse

Voire, Capteurs  
rH, pH et  
turbidité

L'injection des réactifs est alors asservie au pH, la connaissance du débit d'eau à traiter n'est pas toujours nécessaire.

Tant l'étape de décantation que l'étape de flottation génèrent des déchets provenant des matières en suspension (MES) et colloïdes contenus dans l'eau mais piégés lors du traitement auxquels s'ajoutent les produits nécessaires au traitement. Les boues doivent donc être traitées (déshydratées) et évacuées conformément la réglementation en vigueur.

## e. Filtration

Cette étape est primordiale pour respecter une turbidité de l'eau traitée < 0,5 NFU.

Deux types de filtration peuvent être mis en œuvre :

- **la filtration de surface** (Cake filtration, fonctionnement descendant) utilise des matériaux filtrants de faible granulométrie : TE<sup>59</sup> comprise entre 0,3 et 0,5 mm et CU<sup>60</sup> compris entre 1,7 et 1,9. Le colmatage du filtre ne se fait qu'en surface du fait du mode de lavage à l'eau à contre-courant: durant cette phase, le filtre est mis en expansion totale (lit fluidisé) en conséquence, à l'arrêt du lavage, il y a une stratification du matériau filtrant : c'est à dire les particules les plus fines restent en surface du filtre et les particules les plus lourdes s'agglomèrent au fond. Ces filtres ne sont donc pas adaptés au traitement de colloïdes (MES contenues dans l'eau brute) argileux ou aux traitements utilisant des adjuvants de floculation dont la fonction est de rendre les floccs beaucoup plus cohérents et collants. Ce type de filtre n'est quasiment jamais utilisé en France.

La hauteur de matériau n'y joue pas de rôle important, cependant pour augmenter la durée des cycles, des filtres multicouches sont utilisés. Le média se compose alors de deux ou trois couches. En partie haute, se situent les matériaux les plus gros, de densité moins élevée, leur granulométrie décroît ensuite au fil de l'eau, leur densité en revanche, augmente.

- **la filtration en profondeur** (Deep filtration, fonctionnement descendant) utilise des matériaux filtrants de plus grosse granulométrie : TE comprise entre 0,8 et 1 mm, CU compris entre 1,4 et 1,5. Comme la taille des grains est environ 3 fois plus importante, dans ce type de filtre, que celle des matériaux utilisés pour la filtration de surface, le lavage à contre-courant n'aboutira pas à une mise en expansion totale du matériau. En revanche, le lavage provoquera des turbulences permettant aux grains de matériau filtrant de se frotter les uns aux autres.

Dans ces filtres, toute la hauteur du matériau contribue à la rétention des particules, elle constitue donc un facteur critique.

Le lavage des filtres s'effectue en 5 étapes :

- arrêt de la filtration et manœuvre manuelle ou automatique de vannes pour le lavage et l'évacuation des eaux sales
- décolmatage, en insufflant à contre-courant de l'air sous pression. Cette étape de détassage dure, en général, entre 30 et 60 secondes
- lavage à contre-courant avec un mélange air/eau. Durant cette étape qui dure en général entre 4 et 5 minutes, l'expansion<sup>61</sup> du matériau est d'une vingtaine de cm et correspond au volume d'air injecté. Les grains du média filtrant sont maintenus à leur hauteur d'origine dans le filtre, les turbulences ne provoquent que des frottements et éliminent les particules fixées (même les plus adhérentes contrairement aux filtres de surface). Une attention toute particulière sera portée à la vitesse ascensionnelle de l'eau surtout pour des médias peu denses : en effet, en basse température (< 6°C), l'eau est plus visqueuse et pourrait entraîner les particules du média et provoquer des pertes de matériau
- le rinçage consistera ensuite à parfaire l'élimination des particules retenues durant la filtration de l'eau et à éliminer la totalité de l'air contenu dans le filtre. Cette étape dure en général de 10 à 15 minutes

Les vitesses de passage de l'eau et la mesure de perte de charge

Si la totalité de l'air n'est pas éliminée, les poches restantes s'opposeront au passage de l'eau provoquant ainsi une réduction de la surface de filtration et des survitesses au droit du filtre (ce phénomène est appelé Embolie du filtre). Ce mauvais rinçage est mis en évidence lors de la remise en eau du filtre, par un contrôle de la perte de charge (la perte de charge entre l'amont et l'aval est anormalement élevée). La température de l'eau joue aussi un rôle important dans les filtres à matériaux filtrant moins denses

- la remise en mode filtration en manœuvrant des vannes, soit manuellement, soit par un automate

<sup>59</sup> Taille effective = D10 sur la courbe granulométrique

<sup>60</sup> Coefficient d'uniformité = D60/D10

<sup>61</sup> Par expansion on entend l'élévation du niveau du média filtrant du fait de l'injection air/eau.

→ Le choix du matériau filtrant est primordial.

On se focalisera ci-après sur les médias filtrants utilisés pour la filtration en profondeur (Deep filtration). Le média filtrant se caractérise par :

- **sa granulométrie** : la taille effective et le coefficient d'uniformité sont à préciser dans les commandes et à vérifier à la réception (avant leur mise en œuvre dans le filtre)
- **sa densité** : les densités apparentes minimale et maximale après tassement du matériau. Les risques présentés par des matériaux peu denses ont déjà été évoqués ci-avant, ils porteront notamment sur des filtres à charbon actif en grain utilisés pour la rétention des micro floccs et l'adsorption (filtres à CAG de premier étage). La densité apparente<sup>62</sup> de ces charbons est de 0,5 à 0,6.  
La densité réelle (1,4) du média permet d'identifier la constitution réelle du matériau (la biolite :1,8 - calcaire (marbre concassé) :2 -la silice à une densité de 2,65<sup>63</sup>), mais également, de connaître indirectement sa porosité.
- **sa résistance à l'acide** : à l'amont immédiat des filtres, l'eau doit être légèrement agressive afin d'éviter la carbonatation et la prise en masse du média filtrant. Mais si le matériau se dissout en milieu acide, sa granulométrie évoluera au cours du temps et occasionnera une perte de matériau
- **sa dureté** : le lavage provoque des frottements des grains les uns aux autres, le matériau doit être le plus dur possible. Pour des filtres à charbons actif de premier étage qui jouent deux rôles, les CAG utilisés sont des charbons actifs beaucoup plus résistants à l'abrasion (provoquée par ces frottements)
- **la forme des grains** : les sables roulés recueillis dans le lit de rivières présentent une forme "arrondie" adaptée à la filtration. Les sables de Loire sont particulièrement propices à la filtration de l'eau car ils sont constitués de silice. Les sables de Seine, au contraire, sont constitués de carbonate de calcium et sont non utilisables
- **d'autres types de sables**, de forme anguleuse obtenus par concassage de matériaux plus gros sont également utilisables. Notons cependant que suivant les matériaux, pour une même taille effective (ronds ou anguleux), la porosité du média sera différente.

Les matériaux généralement utilisés pour la filtration de l'eau sont :

- les sables siliceux : sables roulés, quartz concassé, silex concassé
- les sables obtenus après concassage de minerais de manganèse
- les sables obtenus après concassage de minerais de fer ferrique : hématite, magnétite, goethite, akaganéïte, lépidocrocite, ferrihydrite
- les sables siliceux recouverts soit de dioxyde de manganèse, soit d'oxyhydroxyde de fer
- les argiles cuites concassées
- l'antracite concassé
- le charbon actif de premier étage obtenu à base d'antracite activée thermiquement

→ Tous les supports filtrants doivent être conformes aux dispositions réglementaires (respect de critères de pureté).

**En filtration de surface** d'autres matériaux peuvent être utilisés, mais pour obtenir des bicouches il faut que le matériau le moins dense mais de taille élevée soit positionné en haut du filtre, les matériaux suivants présenteront des tailles décroissantes mais des densités plus élevées (Ilménite, pierre ponce, etc).

**En filtration de profondeur**, la densité des matériaux ne va pas influencer la constitution des filtres bicouches, les grains de matériaux resteront en place durant les lavages. En revanche, la vitesse ascensionnelle de l'eau de lavage et sa température seront des paramètres critiques à contrôler dans les couches constituées des matériaux les plus légers.

<sup>62</sup> La densité apparente est mesurée dans 1l de matériau

<sup>63</sup> La densité réelle illustre la densité du produit sans les espaces intermédiaires

Pour assurer une bonne rétention de **Cryptosporidium**, les principaux points critiques sont les suivants :

- la vitesse de filtration au droit de chaque filtre. Plusieurs points sont à maîtriser :
  - la vitesse ne devra pas dépasser 8 m/ heure en visant 5 m/ heure
  - la **vitesse de filtration** ne variera pas de plus de 3% par minute : le débit d'eau à traiter n'est alors pas réparti sur les seuls filtres en fonctionnement, le filtre en lavage continue lui aussi d'être alimenté
- le débit d'eau doit être équiréparti sur l'ensemble des filtres (débit égal dans chaque filtre dont les dimensionnements sont identiques)
- la dernière étape du lavage<sup>64</sup> doit être suffisamment longue (au moins 10 minutes) pour chasser l'air des filtres. En effet si des poches d'air subsistent, à la mise en service de la filtration, l'air emprisonné s'oppose au passage de l'eau, la surface de filtration se réduit et augmente la vitesse de l'eau au détriment de la qualité de la filtration
- la hauteur de sable dans les filtres : la performance de la filtration en profondeur est liée à la hauteur de sable dans les ouvrages. Cette hauteur résiduelle doit être vérifiée tous les ans, du sable sera éventuellement ajouté. Ces informations doivent figurer dans le carnet sanitaire
- après lavage, les premières eaux obtenues à la remise en filtration d'un filtre (durant les 10 à 15 premières minutes) sont soit remises en tête de filtre, soit envoyées en tête de traitement, soit mélangées aux eaux de lavage des filtres (eaux sales)
- des capteurs de pression en amont et aval de chaque filtre permettront de mesurer l'encrassement des filtres
- un suivi de la turbidité de l'eau filtrée est nécessaire. Ces capteurs critiques exigent toutefois de la maintenance si l'installation ne comprend qu'un seul capteur sur l'eau filtrée, la consigne de turbidité devra être de 0,3 NFU (valeur adoptée par sécurité). La dilution des eaux filtrées ne peut être considérée comme une étape de traitement en biologie, et par extension, ce principe s'applique à la turbidité
- le fond du filtre doit être régulièrement contrôlé pour repérer le cas échéant des buselures cassées et programmer leur remplacement. Les buselures cassées expliquent parfois des pertes de matériau filtrant

Vitesse de l'eau, hauteur des matériaux filtrants, perte de charge et turbidité de l'eau filtrée

Les eaux de lavages sont des eaux usées dont le traitement doit respecter la réglementation en vigueur (code de l'environnement).

Le recyclage des eaux de lavage n'est, à ce jour, pas autorisé par le ministère de la santé. L'ANSES élabore actuellement un guide de bonnes pratiques de recyclage, mais il nécessitera une approbation du ministère de la santé. Dans l'attente, les autorisations de recyclage sont données au cas par cas.

→ Pour réaliser une étude des dangers préalable à une demande d'autorisation de recyclage des eaux, le danger d'origine micro biologique est à analyser en priorité, plus particulièrement les micro-organismes qui nécessitent impérativement une étape de rétention : le modèle type à prendre en compte est *Cryptosporidium*.

→ Dans un [rapport AFSSA](#) traitant du *Cryptosporidium*, il est démontré combien l'étape de décantation ne joue aucun rôle dans l'élimination de ce micro-organisme. L'étape de flottation contribue quant à elle, à un abaissement d'un facteur 10 (1 log) du nombre de *Cryptosporidium*. La filtration retient la quasi-totalité de ces microorganismes. Leur faible potentiel Zéta permet leur liaison au micro floc retenu lors de l'étape de filtration.

**Les eaux issues du lavage** des filtres, (qui correspondent à l'étape de lavage à contre-courant air/eau de 4 ou 5 minutes) sont les plus riches en microorganismes. Dans l'attente de directive sur le recyclage des eaux de lavage des filtres, la prudence impose de ne pas les recycler.

En revanche **les eaux de rinçage** dont le but est de parfaire le nettoyage et d'éliminer l'air présent dans le filtre, présentent des volumes importants (de 10 à 15 minutes de rinçage) et sont jugées recyclables, parfois sans traitement préalable, après avis de l'ANSES (par exemple si la turbidité de la totalité de ces eaux est < à 2 NFU).

<sup>64</sup> Le lavage du filtre qui comprend 3 étapes (Insufflation d'air à contre-courant, lavage à contre-courant air + eau et rinçage à l'eau seule)

Ces eaux sont recyclées en tête de traitement, il faut alors que les circuits hydrauliques de l'installation permettent une séparation des eaux de nettoyage et de rinçage.

Concernant **les eaux de maturation** c'est à dire les eaux filtrées pendant les 10 ou 15 minutes lors de la remise en filtration d'un filtre : dans nombre d'usines, ces eaux sont désinfectées et distribuées, il n'y a donc aucun risque de les recycler, soit en tête de filtres, soit en tête de traitement.

## f. Clarification biologique

En filtration biologique lente, aucun réactif chimique n'est ajouté, sauf lorsque des prétraitements sont implantés en amont pour traiter des eaux dont la turbidité varie (entre 0,3 et 15 NFU au maximum). En outre, en filtration biologique, les filtres ne sont pas lavés à contre-courant.

La clarification se fait grâce aux bio polymères générés par les bio - films fixés sur le média filtrant en présence d'ions calcium (5mg/L de  $\text{Ca}^{++}$ ). Si le traitement ne nécessite pas d'ajout de produit chimique de coagulation en amont, la composition chimique du média filtrant n'a plus d'importance, du sable à base de carbonate de calcium peut alors être utilisé.

Les autres paramètres conditionnant le dimensionnement de ces installations sont identiques à ceux utilisés en filtration rapide classique. La taille effective des matériaux filtrants peut varier de 0,5 mm à 0,9 mm.

En filtration biologique, le colmatage survient en surface, l'épaisseur de sable ne joue pas de rôle important. L'épaisseur du média varie généralement entre 50 et 100 cm ; le colmatage (mesure de perte de charge) ou le débit d'eau filtrée (mesure de débit) servent d'indicateurs de suivi de la filtration.

En l'absence de lavage à contre-courant, il faut toutefois assurer un lavage en surface du filtre, contrôler l'homogénéité du média et éviter les passages préférentiels<sup>65</sup>. La turbidité de l'eau filtrée doit rester entre 0,1 à 0,2 NFU. La circulation de l'eau ne doit pas être forcée, par exemple en augmentant la hauteur d'eau sur le filtre ou en filtrant en dépression. Le dégazage de l'eau qui résulterait du mode de fonctionnement forcé, peut aboutir à une embolie du filtre. Dans certaines usines (en Angleterre), le lavage en surface consiste simplement en un raclage de la surface et à retirer 1 à 2 cm de sable. Le lavage total du filtre et l'appoint de sable ne se font que lorsqu'il ne reste plus qu'un résiduel de 30 cm de sable dans le filtre.

Les paramètres les plus importants sont :

- **la température de l'eau** : Si la température est  $< 6^{\circ}\text{C}$ , la nitrification et l'oxydation biologique du fer et du manganèse sont inhibées. Si la température de l'eau descend en dessous de  $4^{\circ}\text{C}$ , la clarification est à son tour inhibée. En outre, si la température de l'air est négative, il est impératif de faire varier le niveau d'eau dans les filtres afin d'éviter leur prise en masse de l'eau puis leur détérioration du fait de la faible vitesse de filtration ( $5\text{m}^3/\text{m}^2/\text{heure}$ )
- **la vitesse de filtration**, est de  $5\text{m}^3/\text{m}^2/\text{heure}$ , elle ne doit pas dépasser  $10\text{m}^3/\text{m}^2/\text{heure}$  pour garantir le piégeage des colloïdes par les bio polymères générés par les bio films. En revanche, en période d'eaux chaudes, si l'eau contient du CODB et des ions ammonium, la concentration en oxygène dans l'eau diminuera la nuit lorsque les algues ne produiront plus d'oxygène (la photosynthèse des végétaux ne se produit qu'en présence de lumière). Si la concentration en oxygène est inférieure à  $4,5\text{ mg/L O}_2$ , il y aura d'une part production d'ions nitrite (car la nitrification sera incomplète) et d'autre part une remise en solution du manganèse déposé sur le média filtrant sous forme de  $\text{MnO}_2$ .
- **la turbidité de l'eau**, le domaine de traitabilité de la turbidité de l'eau brute en filtration lente classique est de 0,3 à 10 NFU et exceptionnellement 15 NFU sur une faible durée. Des prétraitements peuvent être mis en place : par exemple un dégrossissage par filtration sur graviers (TE = 5 à 6 mm à une vitesse de  $10\text{m}^3/\text{m}^2/\text{heure}$ ) suivi ou non d'une pré-filtration rapide sur sable (TE = 1 à 1,2 mm à la vitesse de  $5\text{m}^3/\text{m}^2/\text{heure}$ ). Le but de ces étapes liminaires est de réduire la teneur en MES<sup>66</sup> et non en colloïdes. Les valeurs limites de turbidité indiquées dans le paragraphe précédent, restent cependant applicables, un espacement des lavages (par raclage de la surface du filtre) peut néanmoins s'envisager.

Température, vitesse de filtration, turbidité, entretien des filtres, pH, taux d'Oxygène

→ La qualité de l'eau brute peut nécessiter des prétraitements sur filtres.

<sup>65</sup> En cas de passage préférentiel de l'eau, le rendement décroît fortement, on évoque "une crevaision du filtre"

<sup>66</sup> Matière en Suspension

Si le prétraitement consiste à réduire la turbidité de l'eau brute (réduire les Colloïdes), par traitement physico-chimique, alors les limites de traitabilité de la turbidité de l'eau brute peuvent être remontées à 50 -70 NFU. L'eau pré traitée par cette étape doit cependant respecter une turbidité < 5 NFU (coagulation de contact suivie ou non d'une étape de pré filtration rapide).



→ **ATTENTION**

La bibliographie offre beaucoup de données sur les turbidités d'eau brute compatibles avec la filtration lente, elles ont généralement été obtenues lorsque la limite applicable à ce paramètre était de 2 NFU. A ce jour, la limite à garantir en sortie de filtration est de 0,5 NFU.

- **l'entretien des filtres lents** : comme les vitesses de filtration sont faibles, le colmatage apparait en surface de filtre où se développent des mucilages riches en micro-organismes : bactéries, algues, métazoaires, protozoaires (appelés la membrane biologique ou "*Schmutz decke*").

Il faut régulièrement ôter cette couche par un ratissage ou un raclage. Le passage d'un râteau hydraulique à une fréquence d'une à deux fois par quinzaine en période froide et d'une à deux fois par semaine en période chaude peut s'avérer suffisant<sup>67</sup>. Le raclage peut aussi être piloté par une mesure de la perte de charge, dont les capteurs sont considérés comme des capteurs relatifs.

Tous les ans ou tous les deux ans, un lavage en profondeur du filtre est nécessaire (qu'il soit manuel ou mécanique- robot laveur). Ce lavage consiste à enfoncer dans le filtre à (30 ou 50 cm) une canne d'injection d'eau sous pression et ce en des points espacés les uns des autres, de 30 à 50 cm.

- les paramètres de **suivi de la qualité de l'eau** filtrée sont :
  - **la turbidité**
  - **la teneur en oxygène de l'eau**, qui varie dans la journée, de jour il y a prolifération d'algues avec émission d'oxygène dans des teneurs supérieures à la saturation, et de nuit, la concentration en oxygène va diminuer jusque atteindre une concentration <4,5 mg/L et provoquer une remise en solution de MnO<sub>2</sub>
  - **le pH**, lorsqu'il y a prolifération d'algues, le pH peut s'élever et dépasser 9. À ce pH la désinfection au chlore est inefficace

Ces étapes conduisent à la production de déchets (boues) qui devront être traités et évacués conformément à la réglementation en vigueur.

## **g. Clarification physique par ultra – filtration**

L'ultra filtration consiste en une filtration de surface présentant les mêmes contraintes qu'une filtration en surface classique (cake filtration). Mais pour ce type de membrane, tous les prétraitements aboutissant à des floccs cohérents, gélatineux sont à proscrire (ils obstruent les membranes).

Les traitements physiques d'ultrafiltration peuvent être utilisés soit :

- après un pré traitement physique : micro tamisage, micro filtration
- après une coagulation, floculation, séparation, mais dans ce cas l'usage d'adjuvants de floculation (surtout les adjuvants de synthèse) est à proscrire. L'étape membranaire (UF) se situera après une filtration sur sable
- après un réacteur à charbon actif en poudre (CAP) : si des polymères sont ajoutés (surtout les polymères de synthèse : polyacrylamide) pour séparer le CAP de l'eau dans le réacteur, il est impératif de précéder la filtration membranaire d'une filtration sur sable (pour arrêter les floccs en amont de la membrane).
- comme étape d'affinage final, juste avant l'étape de désinfection et après, par exemple, une filtration sur charbon actif en grain (CAG)

<sup>67</sup> Ces préconisations sont toutefois à adapter à l'encrassement réel du filtre.



Les paramètres critiques à surveiller sont :

- **la température de l'eau** qui indirectement donne sa viscosité. Le débit d'eau filtrée par unité de surface de membrane dépend de la viscosité de l'eau : plus la température est basse, plus la viscosité de l'eau est élevée et plus le débit d'eau filtrée sera faible. Le dimensionnement de l'usine d'ultra filtration doit prendre en compte la température de l'eau et ses variations éventuelles
- **les différentes pressions** : pression à l'entrée, à la sortie et la pression transmembranaires. La connaissance de ces pressions permet de commander le déclenchement des lavages à contre-courant de la membrane à des intervalles de temps variant de 30 à 60 minutes
- **la quantité d'eau filtrée** par le module de filtration, permet d'une part de vérifier l'effet des lavages à contre-courant et d'autre part de programmer les lavages chimiques<sup>68</sup>
- **le contrôle de la turbidité de l'eau** permet de juger du fonctionnement frontal ou tangentiel des membranes : dans un système frontal/tangentiel, au-delà d'une turbidité de l'eau brute de 15 NFU (en général), la membrane fonctionne en tangentiel le capteur est alors considéré comme un capteur relatif. En pratique, la turbidité de l'eau filtrée varie peu, si l'eau brute est trop chargée, le module ne la laissera plus passer (la turbidité de l'eau filtrée n'augmentera pas). C'est la raison pour laquelle ce traitement sera qualifié de traitement passif. Si une augmentation de turbidité est constatée, c'est qu'un ou des modules sont endommagés (rupture d'un grand nombre de membranes) et laissent passer l'eau sans aucune rétention
- **l'intégrité des membranes** : le suivi des installations nécessite de s'assurer que les modules ne sont pas détériorés. Un test de mise en pression d'air du module et de suivi de la décroissance de la pression, effectué à intervalles réguliers, permet de suivre leur état

Température de l'eau, pressions et état des membranes

Ces étapes conduisent à la production de déchets qui devront être traités et évacués conformément à la réglementation en vigueur. En traitement membranaire, les eaux de lavage à contre-courant, pourraient, être recyclées sous réserve d'une autorisation du préfet après avis de l'ANSES. En revanche le recyclage des eaux issues des lavages chimiques est interdit.

### 3. Traitements de désinfection

Les traitements de désinfection sont des étapes de transformation, tous les éléments, notamment les ions intervenant dans les réactions de désinfection, restent dans l'eau. Cette étape ne produira donc pas de déchets.

Les principaux désinfectants utilisés sont :

- **la chloration** : le chlore gazeux, une solution d'hypochlorite de sodium achetée, une solution d'hypochlorite de sodium obtenue par électrolyse, une solution d'hypochlorite de calcium obtenue par dissolution du sel solide (HTH). Ce dernier réactif ne peut être utilisé que sur des eaux dont la teneur en calcium est faible (TH < 10°fr)
- **le bioxyde de chlore** obtenu par réaction (en usine) de chlore et de chlorite de sodium ou, d'acide et de chlorite de sodium. Ce point ne sera pas abordé car jugé trop complexe pour les petites unités de production d'eau, ou les Dom et les TOM pour lesquels le transport par voie maritime de chlore et/ou de chlorite de sodium pose problème
- **l'ozone**, ce réactif est à préparer sur place à partir d'air sec (Point de rosée < -50°C) ou d'oxygène liquide. Ce point n'est pas abordé ici car la complexité de cette préparation la rend inadaptée aux petites unités de production d'eau. Pour les DOM et les TOM en zone tropicale ou équatoriale, le dessèchement de l'air saturé d'humidité peut poser problème, en outre il est difficile d'avoir sur place de l'oxygène liquide de grande pureté
- **l'irradiation UV** par lampes à vapeurs de mercure basse ou moyenne pression

→ **Concernant le chlore** : en métropole l'hypochlorite de sodium est le désinfectant le plus couramment utilisé dans les petites unités de distribution, éventuellement des bouteilles de chlore. Pour une eau à faible teneur en calcium, l'hypochlorite de calcium pourrait s'envisager mais nécessite la préparation, sur place, des solutions avant injection dans l'eau.

Deux éléments sont à maîtriser pour l'usage de solutions commerciales d'hypochlorite de sodium : d'une part la pureté (les solutions vendues dans le commerce pour des usages domestiques ne présentent pas des taux de pureté suffisants pour la désinfection de l'eau), et d'autre part l'instabilité et le dégradation de la solution dans le temps, en fonction de température de la zone de stockage. Ces solutions ne sont pas utilisables en zones tropicales ou équatoriales où la solution perd en moyenne 1% par journée de stockage.

<sup>68</sup> Le lavage chimique permet de nettoyer plus activement les membranes.

→ Pour les solutions obtenues à partir de HTH<sup>69</sup>, leur livraison est problématique dans les DOM et TOM même par transport maritime.

La synthèse par électrolyse de solutions d'hypochlorites de sodium est donc, dans bien des cas, la solution la plus simple : le sel (NaCl) existe avec la pureté nécessaire (sel utilisé dans les adoucisseurs ou pour l'électro-chloration en piscine), le stockage et le transport ne posent pas de problème particulier, les systèmes d'électrolyse sont bien maîtrisés.

→ **La désinfection à l'aide de rayonnements UV** est bien encadrée à condition de n'utiliser que des réacteurs ayant un agrément pour la désinfection des eaux destinées à la consommation humaine, délivré par le ministère de la santé ;

ATTENTION, le ministère de la santé a aussi agréé des réacteurs UV pour la déchloramination des eaux de piscines déjà désinfectées par ajout de chlore, ces réacteurs n'ont pas l'énergie suffisante pour l'obtention d'une désinfection efficace de l'eau destinée à la consommation humaine.

### a. Désinfection chimique

Les principaux paramètres de maîtrise d'une désinfection par le chlore sont les suivants :

- **la concentration de la solution contenant des hypochlorites** ou le débit de chlore (si on utilise du chlore gazeux) et **le débit d'eau à traiter**. Un autre mode de désinfection consisterait à asservir la dose de chlore injectée à la dose de chlore résiduel mesurée après un temps de contact donné. Pour un objectif de 0,5 mg/L de chlore après un temps T10 de 30 minutes ; une consigne de 0,55 ou 0,60 mg/L Cl<sub>2</sub> au point de mesure permettra à l'asservissement de corriger en amont le débit de la solution chlorée introduite 30 minutes plus tôt.
- **le temps réel ou T10 de la bache de chloration**, ce temps T10 est obtenu par traçage de la bache de chloration, il faut que T10/T moyen soit > 0,7. Pour mémoire ce rapport varie entre 0,1 et 0,3 pour les bâches non chicanées
- **la concentration en chlore libre** après le temps de contact, en général 0,5 mg/L après 30 minutes de contact (T10) ou 0,3 mg/L Cl<sub>2</sub> après 45 minutes de contact (T10)
- **la concentration en chlore total** qui regroupe le chlore libre et le chlore combiné (Chloramines). Au point de mise en distribution, le rapport Cl<sub>2</sub> libre/ Cl<sub>2</sub> total doit être > 0,8, sinon le goût de chlore sera prononcé et le service s'exposera à des plaintes des consommateurs
- **la turbidité de l'eau** : lors de l'étape de désinfection par le chlore la turbidité de l'eau doit être < 1 NFU
- **le pH de l'eau**, celui-ci doit être < 8,1 sinon l'espèce chlorée dominante sera ClO<sup>-</sup> (Ion hypochlorite) qui est 1000 fois moins active que HClO (Acide hypochloreux)

Dosage du chlore, Chlore résiduel, temps de contact, turbidité et pH

### b. Désinfection physique

Les principaux paramètres de maîtrise de la désinfection par irradiation par des rayonnements UV sont :

- **la dose d'irradiation doit être impérativement de 400 j/m<sup>2</sup>**. La dose correspond à une puissance d'irradiation multipliée par un temps de contact avec l'eau, il est impératif de connaître le débit d'eau à désinfecter pour dimensionner la capacité de la lampe UV
- **la turbidité** de l'eau à traiter doit être < 0,5 NFU
- **la teneur en fer** doit être < 0,05 mg/L
- **la teneur en manganèse** doit être < 0,02 mg/L

Turbidité, temps de fonctionnement de la lampe, Puissance

<sup>69</sup> HTH : Hypochlorite de calcium

- **la transmittance** UV à 254 nm en cuve de 1 cm qui doit être > 80%
- **la fréquence du nettoyage** physique et/ou chimique de la gaine de quartz en contact avec l'eau.
- **le temps de fonctionnement de la lampe** en heure avec une comptabilisation d'une heure de fonctionnement supplémentaire à chaque arrêt et chaque redémarrage
- le fonctionnement permanent de la lampe (une alimentation en eau permanente)

## 4. Traitements d'élimination de micro – polluants minéraux

### a. Traitements d'élimination du fer et du manganèse

Le fer et le manganèse peuvent être éliminés par voie physico-chimique ou par voie biologique. Ces 2 éléments sont généralement présents ensembles dans l'eau.

#### a.1. Traitements physico – chimiques

**L'élimination du fer** est effectuée par oxydation à partir de l'oxygène de l'eau. Il faut 0,14 mg d'oxygène par mg de fer ferreux. Comme les eaux contenant du fer ferreux sont très pauvres voire dépourvues d'oxygène, une aération préalable est nécessaire. Lorsque le fer est complexé à des matières organiques, le procédé se complique et nécessite une pré ozonation.

Les paramètres à maîtriser sont :

- **la teneur en oxygène** de l'eau
- **le pH de l'eau** : à pH < 7,2 cette oxydation est beaucoup trop lente pour s'effectuer dans une durée compatible avec le temps de séjour de l'eau dans l'usine

Teneur en  
oxygène et pH

L'élimination du fer rendu insoluble après oxydation s'effectue soit par filtration soit après co-précipitation par ajout de chlorure ferrique. Ces étapes ont déjà été présentées aux chapitres VII.1

**L'élimination du manganèse** est plus complexe :

- si la teneur en manganèse est inférieure à celle du fer, l'élimination du manganèse s'effectuera de la même manière que pour le fer
- si le manganèse est seul (sans présence de fer dans l'eau), il faudra mettre en œuvre une élimination spécifique
- si la teneur en manganèse est supérieure à celle du fer, l'élimination suivra le même processus que l'élimination du manganèse seul

L'élimination du manganèse par oxydation à partir de l'oxygène dissous dans l'eau nécessite un pH > 9. A défaut d'un tel pH, il est indispensable d'ajouter un oxydant fort, comme par exemple :

- le chlore, mais la cinétique de réaction est très lente et nécessite un temps de contact de 20 à 24 heures à pH 7,5
- le bioxyde de chlore, mais pour avoir des réactions dans la demi-heure, il faut multiplier par trois les doses normalement nécessaires (à pH > 9). En outre le pH doit être > 7,3. Par ailleurs l'utilisation de ce réactif pose quelques difficultés.
- le permanganate de potassium, ce réactif est le réactif de choix mais il faut s'assurer de son dosage (un excès conduirait à retrouver dans l'eau des ions permanganate (Manganèse) qui lui donnent une coloration violette). Le pH doit être > 7,3
- l'ozone est aussi un bon réactif, le pH doit être > 6,5. En cas de surdose d'ozone, l'oxydation du manganèse conduit à la formation d'ions permanganates avec coloration violette de l'eau. L'usage de ce réactif pose aussi des difficultés

Le seul réactif effectivement utilisable, pour une oxydation physico-chimique est donc le permanganate de potassium.

Les principaux paramètres à maîtriser sont donc :

- **la quantité de manganèse** et éventuellement celle du fer, à éliminer
- **le débit d'eau** à traiter
- la concentration et le débit **de la solution de permanganate de potassium**
- **le pH** de l'eau à traiter

La teneur en Mn/Fe, le débit d'eau, le pH et la concentration en  $\text{KMnO}_4$

L'élimination du manganèse, et éventuellement du fer rendu insoluble après oxydation, s'effectue soit par filtration soit après co-précipitation par ajout de chlorure ferrique. Ces étapes sont développées au chapitre VII.1.b.

## a.2. Traitements biologiques

Le fer et le manganèse peuvent être éliminés par voie biologique (par des ferrobactéries ou des manganobactéries). Le fer et le manganèse se retrouvent à l'intérieur des bactéries qui utilisent comme ressource, l'énergie issue de leur oxydation. Il s'agit de bactéries pédonculées, ou bactéries filamenteuses très bien liées au média filtrant. Ainsi les vitesses de filtration sont 4 à 5 fois plus élevées que pour une filtration utilisée dans un processus d'oxydation chimique. Il n'y a pas nécessité d'ajouter une séparation eau/ floc.

**Pour le fer**, les points de maîtrise du procédé sont :

- **le pH** de l'eau < 7,2
- **la teneur en oxygène de l'eau** qui doit être faible pour ne pas créer d'interférence avec l'oxydation chimique (< 2mg/L  $\text{O}_2$ )
- **le rH<sup>70</sup>** qui doit être > 14
- **la teneur en matières organiques** (COD), parce qu'elles constituent de bons complexants du fer, quelle que soit sa valence
- **la teneur en silice de l'eau**, qui constitue aussi un complexant du fer quel que soit sa valence (15 mg/L  $\text{SiO}_2$ )
- **la présence d'inhibiteurs**, les métaux toxiques en particulier
- **la présence de manganèse ou d'ions ammonium**. Dans ce cas, la déferrisation biologique précède l'élimination des autres paramètres
- il faut 2 à 3 jours pourensemencer des filtres au démarrage d'une installation. En revanche le redémarrage de l'activité des bactéries, après arrêt, est quasi instantané

pH, teneur en  $\text{O}_2$ , rH, teneur en COD, présence d'inhibiteur, Si, Mn,  $\text{NH}_4^+$

**Pour le manganèse**, les points de maîtrise sont :

- **le pH** n'a pas de rôle important (< 7,6)
- **la teneur en oxygène** dissous dans l'eau doit être > 6mg/L  $\text{O}_2$
- **le rH** qui doit être > 26
- **la teneur en matières organiques** (COD), lesquelles constituent de bons complexants du manganèse quelle que soit sa valence
- la teneur en silice de l'eau, qui s'avère être un bon complexant du manganèse quelle que soit sa valence (15 mg/L  $\text{SiO}_2$ )
- **la présence d'autres composés** (fer, ions ammonium, sulfures) : Dans ce cas la chaîne de traitement pourrait se décomposer en une déferrisation (telle que décrite ci-avant), une aération pour augmenter la teneur en oxygène dissous dans l'eau et éliminer les sulfures, une nitrification biologique et enfin la démanganisation biologique. Dans certaines installations, la nitrification et l'élimination du manganèse se font dans les mêmes filtres
- **la présence d'inhibiteurs** (à l'activité biologique)
- il faut 2 à 3 jours pourensemencer des filtres au démarrage des installations. Le redémarrage après arrêt est en revanche quasi instantané

pH, teneur en  $\text{O}_2$ , rH, teneur en COD, présence d'inhibiteur, Si, Fe,  $\text{NH}_4^+$

<sup>70</sup> Potentiel redox

## b. Traitements de co-précipitation de micropolluants minéraux

Ces éléments sont co-précipités sous forme d'hydroxydes, carbonates ou hydroxycarbonates lors de la coagulation – floculation ou la clarification biologique des eaux.

Les points critiques à prendre en compte sont :

- le **pH** de l'eau
- la **teneur en carbonates** et/ou **bicarbonates de l'eau**
- l'**efficacité de l'étape de clarification**

Teneur en carbonates et bicarbonates, pH

Il faut donc se reporter aux prescriptions émises pour l'étape de clarification physico – chimique ou biologique au chapitre IX.2.

## c. Traitements d'adsorption sélective des micro – polluants minéraux

L'adsorption sélective intéresse de nombreux éléments qu'ils soient sous forme cationique, oxyanions ou oxyanions. Lors de l'oxydation du manganèse par le permanganate de potassium, après qu'une couche de dioxyde de manganèse se soit déposée sur le média filtrant, l'ajout du permanganate n'est plus nécessaire. Le manganèse divalent est adsorbé puis oxydé de façon catalytique en l'absence de permanganate. Il est retenu par adsorption sélective sur le média.

Certains supports d'adsorption doivent être régénérés et activés par utilisation de bases et d'acides, les effluents qui en résultent doivent être traités et les déchets produits évacués conformément à la réglementation en vigueur.



### → ATTENTION

Les effluents de régénération sont des effluents toxiques

**Remarque :** le GEH (oxyhydroxyde de fer sous forme akaganeïte), utilisé pour le traitement de l'arsenic, n'est pas un support d'adsorption régénérable. Lorsque sa saturation est atteinte, il est renouvelé, le produit saturé est évacué conformément à la réglementation en vigueur (C'est un déchet toxique). Il constitue finalement le support d'adsorption de choix pour les petites unités de traitement justement parce qu'il permet d'éviter ces opérations de régénération et d'activation.

Quelque soit le support adsorbant utilisé, les paramètres de maîtrise sont :

- la **quantité d'eau passée** sur l'adsorbant afin de prévoir sa saturation et effectuer sa régénération – activation, ou procéder à son remplacement
- le **pH** de l'eau à traiter
- la **vitesse de passage de l'eau** ou le temps de contact eau/support adsorbant

Volume d'eau traité, pH et vitesse de l'eau

## d. Élimination des ions ammonium

L'élimination des ions ammonium s'effectue par voie biologique ou par voie chimique.

### d.1. Élimination biologique

Les ions ammonium sont éliminés par transformation biologique en ions nitrites puis nitrates. Il faut 4,5 mg d'oxygène pour transformer 1 mg de  $\text{NH}_4^+$ . L'eau ayant généralement une concentration en oxygène dissous de 8mg/L  $\text{O}_2$ , si la teneur en ions ammonium est  $> 1,5 \text{ mg/L NH}_4^+$ , le traitement est réalisé dans des filtres nitrificateurs où de l'oxygène (Air) supplémentaire est ajouté en continu dans l'eau.

Les paramètres de maîtrise sont :

- au démarrage de l'installation : **le temps de maturation du filtre** (Ensemencement naturel)
- **le pH** : la nitrification nécessite un pH > 7,3
- la teneur en **oxygène de l'eau**. L'oxygène ne doit pas être un facteur limitant sinon le processus s'arrêtera au stade des nitrites
- **la température** de l'eau. La nitrification est totalement inhibée si la température est < 6°C et ralentie dès que la température est < 8°C
- la présence **d'inhibiteurs** tel que les nitrites, chlorates, nickel, hydrocarbures aromatiques, les composés sont facilement biodégradables et entrent en compétition avec la nitrification

pH, teneur en O<sub>2</sub>, température, inhibiteurs

## d.2. Élimination chimique

Les ions ammonium peuvent être éliminés, par voie chimique, après oxydation par le chlore, en azote gazeux. Il faut 6,7 mg de chlore par mg de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, en général un ratio de 8 à 10 est adopté. La réaction est assez lente, le temps de contact est d'environ 2 heures pour une réaction complète. En deçà de cette durée, il se forme des produits intermédiaires : des chloramines.

Comme le procédé nécessite des quantités de chlore importantes, en présence de matières organiques dans l'eau, le risque de formation de composés organohalogénés est élevé. Ce traitement est interdit sur de l'eau brute de surface ou de l'eau souterraine influencée par des eaux de surface. Si la nitrification biologique ne peut fonctionner, alors cette étape du traitement doit être implantée en fin de chaîne, lorsque la teneur en matières organiques a été réduite au maximum (par les étapes du traitement en amont).

Les paramètres de maîtrise sont :

- la dose de **chlore** à ajouter à l'eau. Celle-ci est déterminée en laboratoire par des essais de "Break point"<sup>71</sup> ou "demande en chlore de l'eau"<sup>72</sup>
- le **temps de contact** dans le réacteur
- la **dose de chlore** déterminée avec la concentration de la solution, son débit d'injection et le débit d'eau à traiter
- le **chlore libre et total** après réaction. La présence de chlore combiné, en aval, indique que la réaction a été incomplète

La dose de chlore injectée, le temps de contact et la dose de chlore libre résiduel

## e. Élimination des ions nitrates

L'élimination des ions nitrates peut s'obtenir de plusieurs façons :

- Par dénitrification biologique et transformation des ions nitrates en azote gazeux
- Par échange d'ions sur résines anioniques fortes
- Les autres modes d'élimination ne sont pas adaptés aux petites unités de traitement ou aux DOM et TOM, peuvent toutefois être citées l'osmose inverse, les nano filtrations, l'électrodialyse.

### e.1. Dénitrification

Le principe est d'ajouter un accepteur d'oxygène pour libérer l'oxygène des nitrates (NO<sub>3</sub>). Il s'agit de molécules organiques très facilement et rapidement biodégradables (l'éthanol, l'acide acétique ou l'acétate de sodium) ou de molécules minérales (soufre ou sulfures).

En France, les installations utilisent une source de carbone, il s'agit de dénitrification hétérotrophe.

La teneur en nitrates ne doit pas être le facteur limitant de la réaction, ils ne sont donc jamais éliminés en totalité :

<sup>71</sup> Break point : dose de chlore à dépasser pour obtenir du chlore libre résiduel

<sup>72</sup> Demande en chlore de l'eau

il restera entre 20 et 25 mg/L de  $\text{NO}_3^-$  dans l'eau traitée. La quantité de substrat carboné ne nécessite pas de suivi précis dès lors qu'elle a été déterminée au préalable (une valeur consigne permettant toutefois de garantir les nitrates dans une limite résiduelle en fin de traitement).

Les paramètres de contrôle sont donc :

- le **pH** de l'eau doit être > 7,3
- la **température de l'eau** (8°C), cette condition explique pourquoi il n'est pas autorisé de dénitrifier par voie biologique les eaux de surface. Il est cependant possible de proposer une dénitrification biologique lorsque la température de l'eau est > 10°C, l'échange ionique est envisageable lorsque la température de l'eau est < 10°C. Le suivi de la température devient cependant capital et le capteur (thermomètre) sera considéré comme capteur critique, surtout en période de basse température de l'eau
- la **quantité de substrat carboné** : elle est déterminée par la concentration de la solution, son débit et le débit d'eau à traité
- la présence **d'inhibiteurs** (métaux lourds, composés organiques)
- le suivi de la **teneur en ions nitrates** à l'entrée et à la sortie de l'étape de dénitrification

pH, température,  
quantité de  
substrat carboné,  
inhibiteurs

## e.2. Échange ionique sur résines anioniques fortes

L'élimination des nitrates se fait également par échange ionique sur résine anionique forte. Les ions nitrate sont échangés par des ions chlorure (préalablement présents sur les résines).



### → ATTENTION

Les ions sulfate sont échangés avant les ions nitrate et en début de cycle, les ions bicarbonate sont aussi échangés. L'eau devient donc agressive.

Une installation doit compter plusieurs modules d'échange permettant leur régénération à des périodes différentes. L'échange d'ions est total tant que les résines ne sont pas saturées, l'eau traitée est alors totalement dépourvue des ions réagissant sur les résines. Les installations sont donc conçues avec une part du débit à traiter en "by-pass" (sans traitement sur résine) pour laisser une certaine quantité de nitrates dans l'eau et éviter des concentrations en ions chlorure provenant des résines trop importantes. En concentration élevée, les chlorures sont à l'origine du caractère corrosif de l'eau (dissolution des métaux en contact avec l'eau<sup>73</sup>).

La régénération des résines se fait par passage à contre-courant d'une solution saturée de chlorure de sodium (les résines se rechargent en ions chlorure), suivie d'un rinçage à l'eau pour éliminer la solution de régénération.

Les groupements présents sur les résines et permettant l'échange d'ions sont des ammoniums quaternaires qui peuvent migrer dans l'eau si la régénération présente des temps de stagnation de l'ordre de quelques heures. Afin d'éviter de retrouver ces composés dans l'eau, si l'installation subit un arrêt > 6 – 8 heures, il faut effectuer une régénération de la résine avant toute nouvelle utilisation sur le circuit de production d'eau potable. C'est la raison pour laquelle cette étape de traitement est interdite à domicile.



### → ATTENTION

Aux installations qui ne fonctionnent que quelques heures par jour, le risque de migration dans l'eau d'ammonium quaternaire n'en est que plus important. Ce traitement n'est pas adapté à un mode de fonctionnement intermittent

<sup>73</sup> Plus l'eau est minéralisée, plus les échanges d'électrons sont favorisés, l'eau sera corrosive.

Les principaux paramètres de contrôle sont donc :

- la **teneur en ions nitrate et sulfate** à échanger
- la **capacité d'échange de la résine**
- le **volume** d'eau passé sur la résine
- le **débit de "by-pass"** (permettant en aval le mélange d'eau traitée et d'eau non traitée)
- pour la régénération : le volume de solution saturée de chlorure de sodium et le volume d'eau de rinçage
- la gestion des arrêts de l'installation

La teneur en NO<sub>3</sub> et SO<sub>4</sub>, le volume d'eau traité, la fraction de débit traité

Les effluents de régénération sont très riches en ions chlorure, nitrate et sodium, ils doivent être traités et évacués conformément à la réglementation en vigueur.

## 5. Traitement d'élimination des micropolluants organiques

Si leur hydrophobicité, mesurée par log de KOW<sup>74</sup>, est > 3,5 ; Les micropolluants organiques peuvent être retenus sur les floccs ou sur la membrane de filtration en biologique (lors des étapes de clarification physico – chimique ou biologique des eaux).

Actuellement le moyen d'élimination le plus couramment utilisé est l'adsorption sur du charbon actif en poudre (le CAP est ajouté en tête de traitement ou dans un réacteur) ou sur du charbon actif en grain au sein d'un filtre. Le charbon actif en poudre se retrouvera dans les boues de clarification physico – chimique. Dans les systèmes où le charbon actif est introduit en amont immédiat de la membrane d'ultra – filtration, le CAP se retrouvera dans les eaux de lavage des membranes.

Le charbon actif en grain est soit régénéré, soit détruit conformément à la réglementation en vigueur. Comme ces charbons peuvent rester pendant de longues durées (De 1 an à 5 – 6 ans) dans des filtres, il est impératif qu'aucune pollution importante (par composé organique) ne les atteigne. Ils peuvent être protégés en amont, par l'ajout de charbon actif en poudre en tête de traitement.

### a. Les charbons actifs en poudre

Pour les charbons actifs en poudre ajoutés en tête de traitement, les paramètres de contrôle sont :

- le mode d'activation du CAP : Les CAP activés chimiquement ne peuvent être stockés que dans des lieux inertés conformément aux règles de sécurité applicables en présence d'un risque d'explosion (ATEX)
- **la concentration de la suspension** de CAP (Barbotine) : ATTENTION les CAP activés thermiquement sont basiques, l'eau de dilution ne doit pas contenir d'ions calcium et bicarbonate, sinon il y a un risque de précipitation de CaCO<sub>3</sub> et de bouchage des canalisations. L'eau utilisée pour la dilution sera de l'eau adoucie
- **le débit de la suspension** de CAP
- **le débit d'eau** à traiter
- le taux de déconcentration du CAP dans le réacteur
- la dose d'adjuvant de coagulation pour la séparation eau/CAP dans le décanteur lamellaire
- **la vitesse de l'eau dans le décanteur**

L'activation des CAP, l'eau utilisée pour leur injection, le taux de CAP recirculé

### b. Les charbons actifs en grain

Pour les filtres à charbons actifs en grains les paramètres de contrôle sont donc :

- le mode d'activation du CAG
- la **vitesse de filtration**

L'activation des CAG, la durée du cycle, la vitesse de l'eau, le taux de fines "relargué"

<sup>74</sup> Coefficient de partage octanol/eau



- la **durée du cycle** de filtration
- le type de charbon : premier ou deuxième étage du filtre
- le temps de maturation à la remise en filtration d'un filtre après lavage
- les " **fines de charbons** " libérées par les charbons lors du passage de l'eau qui sont colonisées par des bio films. Le charbon actif étant réducteur et capteur de rayonnements UV, ces micro-organismes sont protégés vis-à-vis des traitements biocides (notamment les lampes UV)
- les pertes de CAG
- la **saturation** du charbon actif
- l'adsorption est un phénomène d'autant plus lent que la molécule est difficile à adsorber. Il est donc préférable de filtrer l'eau à une vitesse de 5m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/ heure sur un mètre de CAG plutôt qu'à 10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/ heure sur 2 mètres de CAG, quand bien même le temps de contact eau/CAG est identique

Dans beaucoup d'usines, les eaux de maturation (les eaux filtrées pendant les 10 ou 15 minutes qui suivent la remise en filtration d'un filtre) sont désinfectées et distribuées. Mais dans certain cas, les eaux peuvent présenter des concentrations en fines incompatibles avec une mise en distribution. Il y a cependant la possibilité de les recycler, soit en tête de filtres, soit en tête de traitement si nécessaire.

## 6. Traitements de modification de la minéralisation globale de l'eau

Cette étape de traitement s'applique aux eaux très peu minéralisées, notamment lorsqu'elles contiennent très peu d'ions bicarbonate et calcium :

- elle ne permet aucun effet tampon du pH (celui-ci ne peut se stabiliser). Or il est indispensable d'avoir un pH stable pour la désinfection de l'eau par le chlore
- elle ne permet pas la protection des canalisations métalliques par la formation d'un dépôt de carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>)

En conséquence, il faudra pouvoir assurer une quantité minimale de calcium et de bicarbonates dans l'eau. Par ailleurs le pH d'équilibre de l'eau est d'autant plus élevé que le TH (Calcium) et le TAC (Bicarbonates) sont faibles, il faudra viser un TH et un TAC de 8°fr pour que le pH d'équilibre soit aux environs de pH 8 (qui constitue la limite supérieure pour une désinfection au chlore efficace).

À l'inverse lorsque les eaux sont trop riches en calcium et bicarbonates, le pH d'équilibre est faible et incompatible avec les traitements de coagulation avec des sels d'aluminium (par exemple) ou le transport de l'eau dans des canalisations en plomb ou cuivre. Le pH idéal pour des canalisations en cuivre est pH 7,5.

L'étape du traitement consiste dans ce cas, à :

- réduire les teneurs en calcium et bicarbonates : il s'agit de la décarbonatation
- ou réduire les teneurs en calcium : il s'agit de l'adoucissement

Le calcium rend l'eau dure, son élimination permet d'avoir une eau plus agréable lors de la toilette corporelle (par exemple).

### a. Traitements de reminéralisation

La reminéralisation de l'eau peut être effectuée de 3 façons différentes.

- par acidification de l'eau, (si celle-ci ne l'est pas déjà) par ajout d'acide carbonique (CO<sub>2</sub>) ou d'acide chlorhydrique (HCl) et ajout d'eau de chaux. Ce procédé, assez complexe à gérer, n'est pas adapté aux petites unités de traitement. Pour une reminéralisation en tête de traitement d'eau de surface avec ajout de lait de chaux, l'acide carbonique sera préférentiellement utilisé pour assurer un apport de bicarbonate suffisant (ce que ne permet pas l'acide chlorhydrique)
- par acidification de l'eau, (si celle-ci ne l'est pas déjà) par ajout d'acide carbonique (CO<sub>2</sub>) ou d'acide chlorhydrique (HCl) et filtration sur un média à base de carbonate de calcium : marbre concassé<sup>75</sup>. A partir de l'agressivité naturelle de l'eau et d'un temps de contact suffisant entre l'eau et un média à base de calcaire, il est possible d'obtenir le TH et le TAC voulus. Dans ce cas, l'acide carbonique est le réactif à privilégier.

<sup>75</sup> Le sable calcaire d'origine marine n'est plus disponible pour des raisons de protection de l'environnement.

- pour les petites installations ou dans les DOM ou TOM où il est très difficile d'obtenir du CO<sub>2</sub> dont la pureté est adaptée à l'eau destinée à la consommation humaine, l'ajout de chlorure de calcium, de bicarbonate de sodium et parfois de carbonate de sodium<sup>76</sup> sont parfois tolérés bien que cette pratique ne soit pas autorisée. Ces installations nécessitent simplement une vérification des doses de réactifs ajoutées.

### a.1. Reminéralisation : Acide/ eau de chaux

Les points de maîtrise sont :

- la préparation de l'**eau de chaux**
- le stockage de la chaux. En zone tropicale ou équatoriale, ce stockage est difficilement maîtrisable
- le **débit de CO<sub>2</sub>**
- l'homogénéité du mélange eau/CO<sub>2</sub>
- le **débit d'eau** à traiter
- le débit de l'eau de chaux
- le pH de l'eau après traitement. ATTENTION aux effets de la carbonatation dans les canalisations et du risque d'obstruction
- la conductivité qui indirectement, indique la bonne reminéralisation

Le débit d'eau, le débit de CO<sub>2</sub> et le débit de lait de chaux

### a.2. Reminéralisation : Acide / Filtration sur CaCO<sub>3</sub>

Les points de maîtrise sont :

- le **débit de CO<sub>2</sub>**
- le **débit d'eau** à traiter
- l'homogénéité du mélange eau/CO<sub>2</sub>
- le **type de calcaire utilisé**. Le sable marin calcaire est désormais remplacé par du marbre concassé : ATTENTION la vitesse de dissolution est beaucoup plus lente, les temps de contact sont au moins multipliés par 2 par rapport au Mearl (Calcaire corallier)
- le **temps de contact** dans le filtre
- les lavages du filtre
- l'**apport en matériau calcaire**, qui se dissout dans l'eau. Il faut d'une part régulièrement éliminer les « fines » de calcaire par lavage des filtres et d'autre part rajouter du matériau
- la conductivité qui indirectement, indique la bonne reminéralisation

Le débit d'eau, le débit de CO<sub>2</sub> et le temps de contact sur le média calcaire, le résiduel de média

## b. Traitement de décarbonatation ou d'adoucissement

Ce traitement concerne les eaux trop riches en calcium et parfois en bicarbonate.

Plusieurs voies sont possibles mais ne seront traitées dans ce guide tels que la décarbonatation chimique et l'adoucissement par résine cationiques fortes.

### b.1. Décarbonatation des eaux

Le principe est d'ajouter à l'eau un réactif basique pour que le pH soit > 8,3 puis à précipiter le carbonate de calcium.

Pour alcaliniser<sup>77</sup> la séparation eau/ carbonate de calcium formé nécessite ensuite une étape de filtration. Mais pour éviter une prise en masse du massif filtrant, par accumulation des carbonates de calcium, l'eau sera rendue agressive en amont immédiat de la filtration<sup>78</sup>. En fin de traitement, le pH de l'eau devra être à nouveau corrigé.

<sup>76</sup> Pour avoir le bon pH

<sup>77</sup> Remonter le pH et respecter la valeur consigne de 8,3

<sup>78</sup> Le pH sera abaissé par injection d'acide

→ Le magnésium n'est pas éliminé lors de la décarbonation, en revanche le strontium et le baryum le sont. La décarbonatation à la chaux conduit aux meilleurs résultats pour le paramètre baryum.

Les principaux paramètres de maîtrise sont :

### 1. Pour l'eau de chaux :

- la préparation de l'eau de chaux
- le stockage de la chaux : en zone tropicale ou équatoriale, ce stockage est difficilement maîtrisable
- le **débit d'eau de chaux**, attention aux effets de la carbonatation et au bouchage des canalisations
- le **débit d'eau** à traiter
- le **pH** : l'injection de l'eau de chaux est souvent asservie au pH
- les paramètres permettant une meilleure séparation du carbonate de calcium formé, lors de l'étape de filtration. Ces paramètres dépendent des systèmes mis en place
- le pH en amont de la filtration, la dose d'acide injectée est généralement asservie au pH<sup>79</sup>
- la concentration en réactif acide
- le débit de la solution acide
- tous les paramètres de filtration déjà abordés

Le débit d'eau de chaux, le débit d'eau, le pH, l'injection d'acide pour baisser le pH

Comme c'est une précipitation à pH basique, certains micro-polluants minéraux qui ne donnent des hydroxydes qu'en milieu alcalin, peuvent être co-précipités (Cobalt, nickel) et éliminés.

### 2. Pour la soude : les paramètres à surveiller sont identiques à ceux définis pour l'ajout d'eau de chaux, s'y ajoutent cependant :

- la **concentration de la solution de soude**. ATTENTION la dilution de la soude avant injection doit être réalisée à partir d'eau adoucie (sans calcium).
- le **mélange** eau et solution de soude : les conditions d'injection et de mélange doivent permettre une dilution homogène et très rapide de la solution de soude afin d'éviter la précipitation (qui peut obstruer les canalisations) de carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>).
- le **débit de la solution de soude**
- le **débit d'eau à traiter**

L'eau utilisée pour la dilution de la soude, le débit d'eau, le pH, l'injection de soude diluée

## b.2. Adoucissement par résines cationiques forte

Les ions calcium et magnésium sont échangés par des ions sodium.

Ce traitement est appliqué à l'eau utilisée pour constituer les barbotines de CAP et la dilution de la soude.

La concentration des ions bicarbonate reste inchangée (les résines n'ont pas d'effet sur le bicarbonate). Les eaux sont alors agressives.

Comme l'échange d'ions est total, un "by-pass" permettra un mélange d'eau traitée et d'eau brute pour ajuster le TH à la valeur souhaitée. [La circulaire de 1962 du ministère de la santé](#) précisait qu'après adoucissement, le TH de l'eau devrait se situer aux environs de 15°fr.

La résine est régénérée par une solution saturée de chlorure de sodium.

<sup>79</sup> Ce pH permettra de rendre l'eau agressive

Les paramètres de maîtrise du processus sont les suivants :

- la teneur en ions calcium et magnésium dans l'eau brute, à échanger
- la capacité d'échange de la résine
- le volume d'eau passé sur la résine
- le débit de "by-pass" permettant en aval, le mélange d'eau traitée et d'eau non traitée
- le volume de solution saturée de chlorure de sodium et le volume d'eau de rinçage nécessaire à la régénération

La teneur en Ca et Mg, le volume d'eau traité, la fraction de débit traité

Les effluents issus de la régénération sont très riches en ions chlorure, calcium et sodium et doivent être traités et évacués conformément à la réglementation en vigueur.

→ Ces résines échangent aussi le strontium et le baryum.

### c. Traitement final de remise à l'équilibre calco-carbonique de l'eau

Ce traitement consiste à remettre l'eau à l'équilibre calco – carbonique, légèrement incrustante.

Pour éviter la prise en masse des filtres, du fait de la carbonatation, l'eau est rendue légèrement agressive. La désinfection au chlore est en outre plus efficace à un pH proche ou inférieur à 7,6. Il faut donc, après les étapes de filtration et désinfection, réduire l'agressivité de l'eau par ajout d'un réactif basique.

Deux voies sont possibles, d'une part l'ajout d'eau de chaux qui présente toutefois le risque d'avoir des précipités, d'autre part l'ajout d'une solution de soude (NaOH). C'est généralement la soude qui est utilisée.

Les paramètres de contrôle sont les suivants :

- le **pH** de l'eau est mesuré en amont et en aval de l'étape de remise à l'équilibre. Le pH mètre sera considéré comme un capteur critique il permet de réguler l'injection de l'eau de chaux ou de la soude. Si l'eau traitée est trop agressive, il n'y aura pas de dépôt protecteur sur les canalisations, en revanche si l'eau est trop incrustante, les canalisations peuvent s'obstruer
- la **concentration de solution de soude** injectée. ATTENTION la dilution doit être effectuée avec une eau adoucie (sans calcium)
- le **mélange eau/ solution de soude** qui doit être rapidement homogénéisé pour éviter la précipitation locale de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ )
- le **débit de la solution de soude**
- le **débit d'eau** à traiter

L'eau utilisée pour la dilution de la soude, le débit d'eau, le pH, l'injection de soude diluée

## X. Risques de dégradation de l'eau dans le réseau de distribution

Le réseau de distribution d'eau destinée à la consommation humaine alimente les abonnés en permanence. Au point de consommation, l'eau doit répondre à des exigences de qualité microbiologique, physique, chimique et radiologique.

Le réseau de distribution d'eau est aussi utilisé par l'industrie alimentaire et peut contribuer à la sécurité incendie.

Les sources de dégradation de la qualité de l'eau en réseau sont nombreuses :

- la qualité de l'eau peut être à l'origine de la dégradation
- le réseau de distribution peut lui-même y contribuer, notamment du fait :
  - des matériaux constitutifs du réseau
  - de la conception du réseau
  - de la saisonnalité des sollicitations
  - de la maintenance des installations
  - de l'âge du réseau
  - des travaux, lors de réparations ou travaux neufs
  - de la contamination du réseau par l'introduction d'eau contaminée lors de "casses"
  - de l'utilisation anormale d'organes du réseau notamment les bornes fontaines, pour des usages autres que la sécurité incendie
  - de l'introduction d'eau contaminée ou polluée par retours d'eau à partir des réseaux privés ou par siphonage

En réseau public, l'activité microbiologique au sein des réseaux est généralement à l'origine des changements de la qualité de l'eau.

En réseau privé, les phénomènes physico-chimiques sont majoritairement à l'origine des changements de qualité de l'eau.

### 1. La qualité de l'eau introduite

→ Pour rappel, "ON NE DESINFECTE QUE CE QUI EST PROPRE"

#### a. Qualité microbiologique

Un changement de la qualité microbiologique de l'eau survient notamment **lorsque l'eau n'a pas été désinfectée**. Les causes possibles sont multiples :

- la présence dans l'eau d'un réducteur au moment de sa désinfection au chlore ou au bioxyde de chlore, des ions nitrite inhibent les effets du chlore se forment par exemple lors d'un arrêt prolongé d'un filtre à charbon actif et stagnation de l'eau. Il faut évacuer les eaux en sortie de filtre durant 2 à 3 heures au redémarrage pour éliminer ces ions
- le rinçage insuffisant d'une bache de désinfection ou de stockage après son nettoyage et sa désinfection avec un produit à base d'eau oxygénée inhibera la désinfection de l'eau. En effet l'eau oxygénée décompose le chlore
- un arrêt ou un bouchage de la pompe d'injection du désinfectant ou tout simplement une panne électrique

Il est donc indispensable d'une part de s'assurer que la pompe d'injection du désinfectant fonctionne et d'autre part que la solution désinfectante arrive dans l'eau. En complément, il faudra contrôler le résiduel de désinfectant dans l'eau, après un temps de contact donné.

- en l'absence de désinfection, il est fort probable que les analyses signalent la présence de deux indicateurs de contamination fécale : E. Coli et entérocoques intestinaux. Mais les résultats d'analyses microbiologiques arriveront bien après la distribution de l'eau non désinfectée, laquelle aura été consommée 48 ou 72 heures plutôt

Un changement de la qualité microbiologique peut aussi survenir après que **l'eau ait été mal désinfectée**.

Les causes sont là aussi multiples.

- le temps de contact entre l'eau et le chlore ou le bioxyde de chlore n'a pas été suffisant : l'eau distribuée peut être contaminante. En désinfection par voie chimique, il est indispensable d'éviter toute diminution du temps de séjour dans les bâches de stockage. Le traçage de cuve permet de mettre en évidence cet éventuel défaut ( $T_{10} / T_{moyen}$  doit être  $> 0,7$ )
- l'eau est turbide ( $> 1$  NFU). La turbidité de l'eau protège les microorganismes vis-à-vis des traitements de désinfection, qu'ils soient chimiques ou physiques (rayonnements Ultraviolet), la quantité de pathogène est exceptionnellement importante. C'est la raison pour laquelle la remise<sup>80</sup> finale du pH à l'équilibre calco-carbonique, à l'aide d'eau de chaux ou (avec un moindre effet) de la soude, se fait après l'étape de désinfection. De plus, pour le chlore, plus le pH est acide meilleure est la désinfection
  - en désinfection chimique E. Coli peut s'avérer être un indicateur d'efficacité de désinfection insuffisant car ces pathogènes sont très peu résistants au chlore ou au bioxyde de chlore. A la dose de chlore tuant les E.Coli, les entérocoques intestinaux ou certains coliformes totaux ne sont que stressés. Dans ces cas, les contrôles bactériologiques effectués en sortie d'usine sont conformes mais dans le réseau de distribution, les analyses pourront mettre en évidence l'absence de E. Coli mais la présence d'entérocoques intestinaux et/ou de coliformes totaux

Cette situation s'explique par la méthode utilisée pour la caractérisation des bactéries. Elle fait appel à des milieux de culture très riches dans lesquels les bactéries stressées sont non revivifiables. Mais après quelques heures voire quelques jours dans le réseau de distribution (qui constitue un milieu pauvre en nutriments), ces bactéries redeviennent viables et sont retrouvées lors des analyses de contrôle de la qualité de l'eau au droit du robinet du consommateur.

Ces bactéries "stressées" peuvent se retrouver dans le réseau après une étape de désinfection satisfaisante mais appliquée à une eau dans laquelle le nombre de bactéries est anormalement important. Il est donc indispensable, que l'étape de désinfection soit précédée de traitements qui réduisent au maximum le nombre de micro-organismes présents dans l'eau : traitements de rétention suivis d'un traitement de désinfection (Transformation de micro-organismes vivants en micro-organismes morts).

- en traitement physique, par rayonnements UV, la limite de turbidité dans l'eau est de 0,5 NFU, l'optimum serait de 0,3 NFU, avec une teneur en fer  $< 0,05$  mg/L, une teneur en manganèse  $< 0,02$  mg/L et une transmittance à 253,7 nm en cuve de 1 cm  $> 80\%$

**Lors d'une étape de filtration insuffisante** ou lors de la mise en fonctionnement d'un filtre après lavage avec remise en tête de filtration (ou évacuation) des premières eaux filtrées : il est possible que des spores, des œufs d'animalcules (aselles, nais, chironome, helminthes...) se retrouvent dans l'eau. Ces spores (surtout les œufs) sont très résistants aux traitements de désinfection chimiques ou physiques. Or dans le réseau de distribution, ces œufs, spores se retrouvent en contact avec d'autres matières en suspension dans les zones de stagnation de l'eau (où le désinfectant résiduel a été neutralisé). Des larves pourront ainsi se développer (bien qu'elles soient normalement sensibles aux oxydants résiduels). Les formes adultes qui en résultent sont très résistantes aux traitements biocides. Ce phénomène apparaît quand la vitesse de filtration d'un filtre varie trop rapidement. Pour éviter de tels phénomènes il faut que les variations de vitesse de filtration ne dépassent pas 3% / minute.

**Au moment de l'étape de désinfection par le chlore, la présence d'ions ammonium** ou de dérivés ammonium dans l'eau conduit à la formation de chloramines dont le pouvoir biocide est 1000 fois inférieur à celui du chlore. C'est la raison pour laquelle le résiduel de chlore libre est suivi dans l'eau (et non le chlore total) après un temps de contact donné (en général 30 minutes). Le chlore total comprend les chloramines (chlore combiné).

**La présence de fines particules de charbon actif dans l'eau** conduit aussi à des désinfections inefficaces. Ces grains constituent des réducteurs du chlore ou du bioxyde de chlore et un support d'adsorption d'un grand nombre de micro-organismes. Ces "fines" de charbon actif proviennent des filtres à charbons en grains, les fuites de fines apparaissent lors de la remise en eau des filtres après un lavage à contre-courant. Pour évaluer la présence de ces fines, il est possible de suivre en continu de l'absorption d'un faisceau lumineux dans le visible ou de filtrer, en laboratoire, 200 à 500 mL d'eau sur une membrane (0,45  $\mu\text{m}$ ).

<sup>80</sup> Cette étape induit une augmentation de la turbidité de l'eau

**L'utilisation de chlore gazeux ou de solutions d'hypochlorites de sodium ou de calcium**, génère de l'acide Hypochloreux (HOCl) en équilibre avec des ions hypochlorites (OCl<sup>-</sup>)

L'acide hypochloreux est un acide faible dont le pKa est de 7,4.

Si le pH de l'eau à traiter est > 8, alors elle contiendra préférentiellement des ions hypochlorites. Ces ions sont 100 fois moins bactéricides que l'acide hypochloreux.

En conséquence la désinfection par le chlore, outre un dosage adéquate, nécessite un pH de l'eau < 8 pour avoir la garantie d'une désinfection efficace.

→ La garantie d'une désinfection efficace n'est obtenue que, si après le temps de contact désiré (au moins 30 minutes pour un résiduel de 0,5 mg/L de chlore libre ou au moins 45 minutes pour un résiduel de chlore libre de 0,3 mg/L), le résiduel de chlore libre, le pH et la turbidité sont contrôlés.

Avec du bioxyde de chlore, le pH n'est pas un facteur limitant. L'eau ne doit pas présenter un pH >8,5 quel que soit le désinfectant.

**Certains micro-organismes sont peu ou pas éliminés par les traitements classiques de rétention** et/ou par l'étape de désinfection.

Les mycobactéries sont constituées de levures, de champignons. Ces organismes prolifèrent dans les filtres à sable ou à charbon actif et sont relargués lors de la remise en filtration du filtre (surtout si aucune étape de maturation du filtre n'a été prévue). La désinfection telle qu'elle est classiquement utilisée, ne réduira ces microorganismes qu'à hauteur de 30%. Ils proliféreront dans le réseau de distribution, essentiellement dans les boues accumulées dans des zones de stagnation de l'eau. Ils sont à l'origine de mauvais goûts par production (par exemple) de trichloroanisole à partir de traces non dosables de trichlorophénol. Certaines mycobactéries peuvent aussi être à l'origine de maladies après inhalation de l'eau : *Mycobactérium kansasii*, *avium* ou *xénopi*.

Parmi ces organismes se trouvent des amibes particulièrement résistantes aux traitements de désinfection.

→ Les amibes se retrouvent dans le réseau de distribution et se nourrissent des biofilms et des dépôts qui s'y trouvent. La plupart d'entre elles ne sont pas pathogènes pour l'homme mais quand elles ingèrent des légionelles (qui ne sont pas digérées par l'amibe et y restent vivantes), elles passent au travers de l'étape de désinfection, grâce à la protection que l'amibe leur procure. En réseau de distribution, les légionelles dévorent l'amibe de l'intérieur, se multiplient et sont relarguées (par l'amibe) en nombre très important dans l'eau. C'est la raison pour laquelle, après une désinfection choc avec des doses importantes de chlore, en réseau d'eau chaude le nombre de légionelles viables est plus élevé après la désinfection. Les doses élevées de chlore tuent les amibes qui libèrent les légionelles qu'elles contenaient.

## b. Qualité physico-chimique de l'eau

**Si l'eau est riche en matières organiques**, notamment en carbone organique dissous biodégradable (CODB), des post-proliférations bactériennes apparaissent puis provoquent la formation de biofilms sur les parois des canalisations. Ces biofilms consomment du chlore et génèrent des trihalométhanes et d'autres composés organochlorés.

→ Le suivi régulier des germes aérobies revivifiable à 22°C et 36°C sont des indicateurs de cette post prolifération bactérienne

**Les ions ammonium ou les composés aminés** peuvent réagir avec le chlore pour donner des chloramines plus ou moins complexes puis des ions nitrites après oxydation par des bactéries. Les ions nitrite sont des "anti-chlore" qui conduisent à l'absence d'oxydant (désinfectant) et permettent ainsi la prolifération de bactéries. Les chloramines donnent en outre un goût désagréable à l'eau (goût de chlore très prononcé).

**Teneurs en fer, manganèse, aluminium** importantes voire supérieures aux références de qualité qui sont respectivement de 0,2 ; 0,05 et 0,2 mg/L.

Le respect des références de qualité ne garantit pas la post-précipitation de ces éléments sous forme d'oxydes, hydroxydes ou oxyhydroxydes dans le réseau de distribution de l'eau, notamment dans les zones de stagnation (où la vitesse de l'eau est très faible) soit constamment, soit de façon aléatoire ou saisonnière. Les biofilms émettent des polysaccharides qui vont contribuer à la précipitation de ces oxydes ou hydroxydes. Dans la directive CEE de 1980 reprise par le décret 89/3 de janvier 1989, figuraient des niveaux guides pour le fer et le manganèse permettant de réduire ces risques de post proliférations bactériennes (les valeurs étaient de 0,05 mg/L pour le fer, 0,05 mg/l pour l'aluminium et 0,02 mg/L pour le manganèse) ; ils n'ont pas été maintenus dans la [directive UE 98 /83 de décembre 1998](#) puis dans sa transposition au Code de la Santé Publique.

En canalisation, lorsque la vitesse de l'eau augmente, ces "boues" sont remises en suspension. Les concentrations augmentent alors significativement jusqu'à 10 fois les références de qualité.

**La présence d'ions en fortes concentrations qui induisent des corrosions métalliques** : en présence d'ions chlorure, sulfate, sodium (surtout lorsqu'ils sont présents à des concentrations proches des références de qualité), l'eau est corrosive.

**L'absence d'éléments dissous dans l'eau** (eaux très peu minéralisées) : L'eau doit être suffisamment minéralisée et contenir des ions bicarbonate et calcium pour qu'un léger dépôt de carbonate de calcium se dépose sur l'intérieur des canalisations. L'eau distribuée doit avoir un TH et un TAC (Respectivement : titre hydrotimétrique et titre alcalimétrique complet)  $\geq 8^\circ\text{fr}$ , le pH d'équilibre se situera aux environs de 8.

Si l'eau ne contient pas ces teneurs en ions bicarbonate et calcium, il n'y a aucun effet tampon pour le pH, lequel peut varier très rapidement entre 6 et 9. Or si le pH est trop élevé, l'effet des traitements chimiques de désinfection devient aléatoire (surtout pour le chlore). L'eau sera corrosive et agressive.

L'eau agressive aura tendance à dissoudre les dépôts de carbonate de calcium sur les canalisations et parfois des réservoirs. Les parois rugueuses permettent ensuite l'accrochage des biofilms.

En revanche, **une eau est trop incrustante** générera un phénomène inverse : Elle aura tendance à fortement déposer du carbonate de calcium notamment lorsque l'eau est aérée (par exemple lors de l'arrivée de l'eau par surverse dans un réservoir, le dégazage du gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ) accélère la formation de cristaux de carbonate de calcium). Cela peut conduire à des dépôts importants, à la réduction du diamètre des canalisations et à l'accélération des vitesses d'écoulement de l'eau. Ces dépôts sont en outre des "niches" pour le développement des biofilms.

Ces phénomènes sont d'autant plus importants que le TH et le TAC sont élevés (eau incrustante). Le pH d'équilibre de l'eau est en revanche faible.

En présence de canalisations en plomb, un pH  $> 7,5$  permettrait de limiter la solubilité du métal (par adhésion de carbonate de calcium sur les parois intérieures du tuyau).

→ La réglementation prévoit qu'en sortie d'usine l'eau soit à l'équilibre calco-carbonique voire légèrement incrustante.

## 2. Le réseau public de distribution de l'eau

### a. Règles de conception du réseau de distribution

*"Les installations de distribution d'eau doivent être conçues, réalisées de manière à empêcher l'introduction ou de substances ou l'accumulation de micro-organismes, de parasites ou de substances constituant un danger potentiel pour la santé des personnes ou susceptibles d'être à l'origine d'une dégradation de la qualité de l'eau distribuée.*

*Ces installations doivent dans les conditions normales d'entretien, assurer en tout point la circulation de l'eau. Elles doivent pouvoir être entièrement nettoyées, rincées, vidangées et désinfectées." (R.1321-56.)*



En conséquence,

- il est impératif de disposer de plans fiables et à jour des réseaux de distribution. Dans les petites unités de distribution d'eau, ces plans sont parfois non existants.

Un travail de remise à niveau des informations est essentiel : localisation, géoréférencement, renseignement du diamètre, âge, matériaux constituant des canalisations, localisation des vannes, points singuliers, PI et des branchements...

- il est indispensable de pouvoir évaluer les pertes en eau issues de la production et de la distribution. Cela passe par la connaissance des débits d'eau mis en distribution et des quantités d'eau consommées (tant au droit des points de desserte que pour les besoins du service). Dans certains petits systèmes de distribution d'eau, la présence de compteurs au départ du réservoir voire chez l'abonné n'est pas systématique.

### **Matériaux constitutifs du réseau de distribution et ouvrages annexes :**

La réglementation en vigueur précise que tous les matériaux au contact de l'eau, qui comprennent des molécules de composés organiques dans leur formulation, doivent posséder une attestation de conformité sanitaire (ACS) délivrée par les seuls laboratoires agréés par le ministère de la santé. La durée de validité d'une ACS est fixée à cinq ans.

Cette obligation n'est pas rétroactive et ne concerne que les nouveaux matériaux utilisés en travaux neufs, d'entretien ou de réparation.

→ Tous les bétons, mortiers, ciments contiennent des additifs comportant des molécules organiques.

→ Certains laboratoires agréés par le ministère de la consommation effectuent des tests de compatibilité avec **les denrées alimentaires. Ces tests ne sont pas valables pour le contact avec de l'eau destinée à la consommation humaine.**

→ Les canalisations enterrées en polymères organiques (polyéthylène : PE, polychlorure de vinyle : PVC) sont perméables à certains solvants organiques ou composés organiques notamment les composés volatils ou hydrophobes : hydrocarbures saturés ou aromatiques, solvants chlorés à 1 ou 2 atomes de carbone, composés antidétonant contenus dans les essences : MTBE<sup>81</sup>, ETBE<sup>82</sup>. Un cas de pollution accidentelle par perméation de lindane à travers des canalisations en PE a été signalé, lors d'un déversement dans le sol d'un produit de traitement du bois à base de pentachlorophénol et de lindane.

Lors du choix des matériaux constituant le réseau de distribution, le risque de contamination du sol par ces composés est à prendre en compte notamment quand il est hautement prévisible : par exemple à proximité de stations-services ou de zones où des accidents de poids lourd sont possibles. Dans ce cas, des canalisations métalliques seront préférées, à défaut, la canalisation sera posée sous fourreau étanche.

<sup>81</sup> MTBE : *Méthyl tert-butyl éther*

<sup>82</sup> ETBE : *Ethyl tert-butyl ether*

→ Avant les années 80, le monomère utilisé dans les PVC n'était pas éliminé, ainsi les canalisations en PVC en place (précédant les années 80) génèrent des émissions de CVM<sup>83</sup> dans l'eau. Dans [l'instruction du 18 octobre 2012](#), le ministère de la santé a instauré des campagnes de caractérisation de la présence de CVM dans les réseaux et des procédures de suivi voire d'actions correctives si les concentrations évaluées en réseau dépassent (après contre analyse) la valeur limite réglementaire de 0,5µg/l. Bien que les conditions de prélèvement et d'analyse présentent des incertitudes notables et rendent l'interprétation des résultats difficile, la présence de CVM nécessite une attention particulière de l'exploitant et la mise en œuvre d'actions correctives visant à limiter les zones d'eau stagnante. La surveillance des réseaux sera adaptée à la température (favorisant l'émission) et le temps de séjour de l'eau dans les canalisations.

Ces monomères sont aujourd'hui éliminés des produits commercialisés, la problématique ne concerne donc que les canalisations antérieures aux années 80.

### **Conception du réseau de distribution**

À sa construction, le réseau est dimensionné pour alimenter la population à hauteur du débit d'heure de pointe des consommations et dans certains cas, pour assurer la sécurité incendie. Le réseau se trouve donc dans nombre de situations, à certaines heures de la journée, surdimensionné. Les vitesses de circulation de l'eau y sont faibles et des zones de stagnation de l'eau sont constatées. Ce contexte apparaît aussi dans des zones où le nombre d'abonnés varie de façon importante à différentes périodes de l'année (notamment en zones de résidence de tourisme, résidences secondaires).

→ La stagnation conduit à une dégradation de la qualité de l'eau : dépôt, biofilms, zones de réduction des ions nitrate en ions nitrite, consommation du désinfectant résiduel et disparition de l'effet bactériostatique, production de goûts anormaux.

En période chaude, les stagnations seront plus problématiques. La température favorise la multiplication de microorganismes, seules des purges régulières des tronçons de réseau où l'eau stagne, permettent d'accélérer les vitesses de circulation de l'eau et limiter les effets de cette stagnation. Ces phénomènes sont d'autant plus importants que la température de l'eau dépasse 15°C. Pour éviter d'accentuer de tels effets, certaines petites communes ont fort justement préféré assurer leur sécurité incendie au moyen de stockages d'eau indépendants du réseau public de distribution.

→ **Le suivi des germes aérobies à 36°C et 22°C sont de très bons indicateurs de dégradation de la qualité de l'eau dans le réseau de distribution public.**

À l'inverse, en fonction du nombre d'abonnés, aux heures de forte consommation, les vitesses de l'eau dans les canalisations augmentent et peuvent remettre en suspension les dépôts voire créer des zones de pression négative et engendrer un risque d'introduction d'eau contaminée. Les joints de canalisations d'eau potable ne sont étanches qu'en conduite sous pression et non en dépression. Si la canalisation se trouve en nappe phréatique ou, si le sol est inondé du fait d'une fuite, les risques de contaminations seront d'autant plus importants.

Enfin, lorsque le réseau de distribution est maillé, la desserte est assurée parfois, au détriment de la qualité de l'eau, des zones de stagnation apparaissent et ne sont, en outre, pas toujours connues du service exploitant.

**La pression de service :** Afin de limiter au maximum les risques de contamination du réseau public par les réseaux privés (par des phénomènes de retour d'eau), la [réglementation en vigueur prévoit \(R1321-58\)](#) que la hauteur piézométrique de l'eau distribuée au niveau du point de mise à disposition de l'eau, soit au moins égale à 3 mètres à l'heure de pointe au niveau du sixième étage d'un immeuble. Si l'immeuble a plus de 6 étages, son concepteur doit prévoir des surpresseurs et des réservoirs de mise sous pression.

<sup>83</sup> CVM chlorure de vinyle monomère

### **Le vieillissement des canalisations par corrosion :**

En fonctionnement à surface libre, la partie dénoyée de la canalisation métallique est corrodée par la condensation au-dessus du plan d'eau. Notamment lorsque la température extérieure est supérieure à la température de l'eau. En effet, dans cette zone dénoyée, il y a évaporation-condensation et l'eau déminéralisée, très corrosive, se dépose sur la face interne de la canalisation. Le choix du matériau est généralement commandé par la qualité de l'eau (très peu minéralisée par exemple) et des conditions d'écoulement.

Des corrosions externes de la canalisation métallique peuvent aussi se produire quel que soit le mode d'écoulement de l'eau à l'intérieur. Plusieurs cas peuvent se présenter :

- la présence de courants vagabonds peut entraîner des dégâts sur des canalisations métalliques, il faudra prévoir des systèmes de protection cathodique efficaces
- un sol acide peut corroder la conduite. Des protections seront nécessaires à moins d'adapter le matériau constituant la canalisation au contexte (revêtement externe par exemple)

À l'extérieur de la conduite, de l'eau très peu minéralisée peut provoquer une corrosion des canalisations posées en surface, à même le sol ou en galerie. En galerie, l'air est chaud et humide alors que l'eau de la canalisation la maintient à une température plus faible, il y a donc condensation et corrosion par des gouttelettes très peu minéralisées qui tombent sur le tuyau.

En période chaude, l'air humide se condense au bas de la canalisation, voire aussi en période froide lorsque la température de l'air est inférieure à celle de l'eau transportée par la canalisation extérieure, la canalisation doit alors être protégée.

### **b. Le stockage de l'eau**

Afin de lisser les variations journalières de la consommation d'eau, le réseau de distribution est généralement complété de réservoir(s) de stockage.

Ces réservoirs sont dans la plupart des cas, à surface libre : l'eau n'est plus en pression. Les accès à l'eau doivent alors être sécurisés et encadrés.

Si le réservoir est enterré ou semi-enterré, il est impératif qu'il soit protégé contre le risque d'intrusion. Cette disposition s'applique cependant à tous les réservoirs.

Les réservoirs sont équipés d'évents et de trop-pleins. Ces dispositifs doivent empêcher l'entrée d'insectes (moustiques, mouches : chironomes...) lesquels pondent leurs œufs dans l'eau qui se transforment en larves au robinet des consommateurs. Des petits animaux peuvent également pénétrer dans les réservoirs et se noyer puis contaminer l'eau. Cette contamination est constatée par les analyses d'indicateurs de contamination fécale (il s'agit généralement de petits animaux à sang chaud, notamment les souris, oiseaux...). Les événements doivent être protégés par des moustiquaires qu'il faudra régulièrement vérifier, voire remplacer, car les vapeurs de chlore ou de bioxyde de chlore sont très agressives vis-à-vis des matériaux les constituant. L'acier inoxydable sera à privilégier dans le choix des équipements.

Ces réservoirs doivent aussi être protégés de la lumière pour éviter la prolifération d'algues.

### **c. Soupapes, ventouses et anti béliers**

Ces dispositifs équipent tout réseau de distribution d'eau.

Les anti-béliers amortissent les coups de bélier dus aux fermetures ou ouvertures trop rapides de vannes ou au démarrage de l'installation de refoulement d'eau. Un coup de bélier est une onde de surpression suivie d'une dépression. Lors de la dépression, l'eau contaminée extérieure peut s'introduire à l'intérieur de la canalisation.

### **d. Maintenance des installations de distribution d'eau**

Les réservoirs de stockage d'eau destinée à la consommation humaine doivent être : vidés pour inspection, nettoyés, désinfectés et rincés tous les ans. Pour ces opérations, tous les réactifs utilisés, doivent être agréés pour cet usage par le ministère de la santé. A cette occasion, est aussi vérifiée l'intégrité des protections des événements, crépines et trop-pleins.

Mais bien souvent cette obligation est difficile à respecter, notamment dans les petites unités de distribution, car il n'y a qu'une seule cuve réservoir et le réseau ne peut être alimenté en son absence. La conception du réservoir d'eau doit donc anticiper cette situation.


En outre, les personnes en charge de l'exploitation de la distribution de l'eau doivent parfaitement connaître leur réseau de distribution afin de pouvoir rapidement identifier le potentiel parcours de l'eau (notamment s'il y a une contamination probable).

### e. Interventions lors des "casses" de canalisations (urgence)

Le ministère de la santé a diffusé un [guide d'interventions](#) sur le réseau de distribution lors de travaux neufs, de travaux de réparation ou de travaux d'entretien. Il traite notamment des consignes à respecter avant les travaux, pendant les travaux et après les travaux en fonction des temps d'intervention, du diamètre de la canalisation et des risques de contaminations identifiés.

Les "casses" de canalisations et les travaux sont des points critiques pour la garantie de qualité de l'eau distribuée. Il est indispensable de respecter des méthodes d'intervention telles qu'elles sont décrites dans le guide et d'enregistrer toutes ces casses, leurs emplacements et le détail de chaque intervention afin de pouvoir programmer éventuellement le remplacement de canalisations trop anciennes ou fragiles, mais surtout faire le lien entre l'intervention et le constat d'une dégradation de la qualité de l'eau qui surviendrait ensuite.

Le nombre de "casses" par Km de canalisation et le rendement du réseau de distribution aident à la planification du renouvellement des canalisations, notamment la programmation de leurs financements.



→ **ATTENTION**

Une canalisation n'est étanche qu'en pression. Toute dépression due à un arrêt de la production, une coupure d'eau partielle, une casse, un coup de bélier (Pressions négatives) est une source de contamination de l'eau par introduction d'eau en provenance de l'extérieur.

## 3. Contamination du réseau public par le réseau privé : Retours d'eau

Les facteurs essentiels pour qu'il y ait un retour d'eau sont :

- une liaison entre le réseau de distribution d'eau potable et un autre réseau d'eau non potable (eau non surveillée ou eau contaminée)
- l'écoulement de l'eau doit se produire de la source contaminée vers le réseau d'eau destinée à la consommation :
  - Soit du fait de la pression atmosphérique : siphonage
  - Soit par une contre pression (refoulement)

### a. Le siphonage

Le siphonage peut provenir :

- d'une mauvaise conception du réseau de distribution ou son sous-dimensionnement. Dans ce cas, la vitesse de l'eau augmente, la pression diminue pour devenir négative et crée une aspiration
- de l'utilisation de bornes d'incendie
- de la baisse de pression consécutive à une "casse" de canalisation
- d'une coupure d'eau
- d'un arrêt brusque de la distribution d'eau : arrêt d'une pompe, coupure de courant, ouverture ou fermeture trop rapide d'une vanne

→ Si aucune protection interdit à l'eau d'un réseau privé d'aller dans le réseau public, toute liaison hydraulique entre ces réseaux est une source de contamination du réseau public.

- De points d'eau situés à des hauteurs différentes : Les cas les plus couramment rencontrés consistent en l'immersion d'une douchette dans une baignoire (ou tout autre récipient) remplie d'eau, le remplissage d'une cuve de pesticide ou tout autre produit avec un tuyau d'alimentation en eau immergé dans la cuve...

## b. Le refoulement

Un refoulement peut provenir :

- de la liaison directe ou indirecte (isolement insuffisant) entre le réseau de distribution public et un autre réseau sous pression
- d'un puits ou forage d'un particulier : Si la pression de ce dernier est supérieure à celle du réseau public et qu'il y a une jonction entre ces réseaux non étanches, le risque de retour d'eau est important. En agriculture, la pression nécessaire à l'irrigation par aspersion peut dépasser 10 voire 15 bars soit des valeurs bien supérieures aux pressions usuelles des réseaux d'eau potable
- d'une eau du réseau public surpressée et mélangée à d'autres réactifs chimiques (lavage des voitures, système de type Karcher...)
- l'incitation à l'économie d'eau et l'usage d'eaux alternatives rend de plus en plus difficile la maîtrise de ces risques (récupération d'eau de pluie...)
- d'usage non conventionnel des bouches d'incendie. Ce cas a d'ores et déjà conduit à de nombreuses contaminations

## → DES TÉMOIGNAGES

"Retour d'expérience sur une épidémie de gastro-entérites aiguës d'origine hydrique en Gironde, [juillet 2010](#)"

"Épidémie dans l'Ain" [août-septembre 2003](#)

## c. Moyens de protection

Le Code de la santé publique précise bien qu'un réseau privé ne doit en aucun cas contaminer le réseau public.

La meilleure protection est l'absence de jonction entre réseaux.

Lorsqu'il existe une liaison entre réseaux public et privé, différents systèmes permettent de se protéger contre les risques de retours d'eau de façon proportionnée au risque : le moyen le plus simple consiste en la pose d'un clapet antiretour, les systèmes les plus protecteurs consistent en des disconnecteurs avec remise à l'atmosphère.

Chaque situation nécessite une étude des dangers en vue d'adapter la protection au risque.

Pour un usage de produits dangereux, notamment en dilution, l'arrivée d'eau du réseau public par surverse constitue le meilleur moyen de protection. En secteur agricole, l'injection, la dilution des pesticides puis le traitement des végétaux sont réalisés en ligne : l'eau est pompée depuis une cuve, la solution concentrée de pesticide est injectée par effet "venturi" au sein de la canalisation d'aspiration de l'eau. Normalement, la cuve ne contient que de l'eau mais doit être remplie avant le démarrage du traitement pour éviter tout risque de contamination du réseau. Ce procédé n'est toutefois pas généralisé.

## 4. Guide d'intervention dans le réseau de distribution lors de travaux neufs, d'entretien ou de réparation

### a. Importance du nettoyage et de la désinfection :

Lors de travaux réalisés sur les réseaux de distribution d'eau potable et les appareils qui s'y rattachent, il est essentiel d'organiser les interventions de manière à éviter toute contamination de l'eau transportée.

La désinfection d'un réseau ou d'un élément de réseau de distribution d'eau potable a donc pour principal objet la suppression des causes d'une altération de la qualité microbiologique de l'eau. Cette opération finale ne se suffit toutefois pas à elle-même, elle doit être précédée d'une opération de nettoyage et de rinçage. Celles-ci joueront un rôle primordial dans la réussite de la désinfection finale.

→ "ON NE DÉSINFECTE QUE CE QUI EST PROPRE"

#### **Nécessité de la désinfection :**

- il n'est pas possible de construire ou de réparer un réservoir, de poser ou réparer des canalisations dans des conditions d'asepsie parfaite
- le nettoyage mécanique ou chimique et le rinçage à grande eau sont indispensables mais insuffisants car des nids microbiens peuvent persister et contaminer ensuite l'eau distribuée
- le nettoyage des cuves de réservoir a pour but d'éliminer les dépôts d'oxydes de fer et de manganèse et de retirer les boues éventuelles déposées sur le radier (argiles, hydroxydes ou oxydes de fer, aluminium, manganèse...)
- l'opération de nettoyage et de désinfection de l'eau doit permettre d'obtenir, dès la remise en service, une qualité d'eau conforme aux exigences réglementaires et en particulier, d'éliminer les germes pathogènes qui peuvent être présents dans la section du réseau où l'intervention a eu lieu (en raison, par exemple, d'écoulement de surface ou plus grave d'une présence d'eaux usées)

#### **Principaux objectifs :**

Une procédure complète de nettoyage et de désinfection doit répondre à plusieurs objectifs :

1. Éliminer les matières étrangères présentes dans les installations (conduites, réservoirs)
2. Éliminer les sources de contamination microbiennes présentes dans les installations (canalisations, réservoirs et appareils raccordés)
3. Éviter de contaminer le réseau de distribution existant
4. Éviter les plaintes de consommateurs portant sur la qualité de l'eau délivrée après réalisation des travaux de pose et/ou d'entretien des canalisations et réservoirs (eaux troubles, colorées...)

#### **Quand doit-on désinfecter ?**

La réglementation précise que :

- "Les réseaux et installations doivent être nettoyés, rincés et désinfectés avant toute mise ou remise en service"
- "Les réservoirs équipant un réseau et installations doivent être vidés, nettoyés et rincés au moins une fois par an"

Les opérations de nettoyage et de désinfection seront par conséquent effectuées :

- **avant la première mise en service des réservoirs et canalisations**, ou avant la remise en service des canalisations anciennes soumises à des travaux (rénovation, réparation), tant pour la section de canalisation concernée que pour les sections adjacentes (entre les vannes) et les bornes fontaines ou poteaux incendie voire les branchements, s'il y a lieu. Cette opération doit aussi être réalisée sur les canalisations laissées vides d'eau durant une période supérieure à 15 jours.

- **avant la remise en service des réseaux** lorsque l'intervention est susceptible d'être à l'origine d'une contamination (cela concernera toutes les interventions ponctuelles notamment en urgence)

Dans la pratique, la procédure de nettoyage et de désinfection sera appliquée en diverses circonstances :

1. Installation de conduites et de nouveaux appareils pour l'extension d'un réseau
2. Remise en service d'une conduite laissée vide d'eau pendant plus de 15 jours
3. Réparation planifiée du réseau de distribution
4. Réparation d'urgence du réseau de distribution lors de casse, de fuite, etc
5. Réduction des biofilms
6. Pose de branchements
7. Entretien des réservoirs d'eau
8. Contamination sectorielle de l'eau, démontrée par des analyses bactériologiques
9. Plaintes des consommateurs sur la qualité de l'eau confirmées par une analyse

Toutes ces circonstances requièrent une désinfection adéquate et proportionnée au contexte de l'intervention afin de ne pas mettre en danger la santé des consommateurs.

→ **Ce n'est donc pas l'ampleur ou la durée des travaux qui conditionneront la désinfection, mais les sources de contamination possibles (souille, eaux usées...).**

## **b. Procédure complète de nettoyage et désinfection des canalisations**

La procédure générale de désinfection d'une canalisation comporte sept étapes, dont quatre essentielles. Les trois dernières concernent la vérification de l'efficacité des quatre premières. La procédure complète est particulièrement adaptée aux installations neuves et aux travaux de renouvellement.

### **Précautions préalables à respecter avant la désinfection**

1. Une protection efficace, contre toute entrée d'éventuels contaminants, des matériaux et matériel devant être utilisés au cours des opérations de construction, de rénovation, de réparation ou d'entretien de l'installation (usine, réseaux...)
2. Nettoyage préalable de l'environnement immédiat

### **Procédure de désinfection** (protocole comprenant les points 1) à 5))

1. Désinfection des canalisations, des réservoirs et des accessoires à l'aide d'un produit chimique adapté à cet usage (et agréé par le Ministère de la santé)
2. Élimination de la solution désinfectante (sans générer de risque pour l'environnement), suivie d'un rinçage efficace
3. Évaluation de l'efficacité du nettoyage et de la désinfection effectuée au moyen d'analyses d'échantillons d'eau
4. Le cas échéant, une reprise de la procédure définie au présent article, en tout ou partie, dans le cas où les résultats des analyses le justifient
5. Mise ou remise en service de l'installation de distribution

## **b.1. Précautions préalables à respecter avant la désinfection**

### **Contrôle de l'entrée des contaminants**

Les matériaux à installer sont susceptibles d'être contaminés si leur stockage sur le chantier est inadapté. Lors de la livraison, il est recommandé d'empiler les tuyaux de façon ordonnée, attachés en groupe pour éviter que des matières étrangères ne s'y introduisent. Les tuyaux doivent être protégés par des opercules pour éviter leur contamination et l'entrée d'animaux. Les tuyaux neufs devront être livrés au client avec leurs deux extrémités obstruées. Ils seront stockés bouchés à leurs deux extrémités. En cours de travaux de pose de canalisation, en pause ou en fin de journée, les canalisations doivent être bouchées à leurs extrémités libres.

Dans la mesure du possible, l'obstruction sera hermétique.

Une attention particulière doit être apportée aux joints, en particulier lorsque de l'eau s'accumule dans la tranchée en cours de pose. Les joints doivent être exempts de contamination.

Les lubrifiants utilisés ne doivent pas altérer la qualité organoleptique, microbiologique et chimique de l'eau. Ils doivent être conservés proprement. Deux types de graisses peuvent être utilisés :

- des graisses hydrosolubles éliminées lors de l'étape de rinçage (type savon)
- des graisses non hydrosolubles qui peuvent contenir un produit désinfectant

→ Les graisses peuvent subsister dans les canalisations et sont parfois à l'origine de contamination de l'eau (notamment lorsque des souillures sont engluées dans la graisse...).

### **Nettoyage et rinçage d'un secteur d'intervention**

Ne faisant pas partie à proprement parler du processus de désinfection, cette étape est cependant essentielle pour la suite des opérations. Elle permet, en effet, d'éliminer la plus grande partie des contaminants et de mener, ensuite, la désinfection dans des conditions satisfaisantes.

Le nettoyage est adapté à chaque situation d'intervention. Une inspection vidéo permettra éventuellement de connaître l'état intérieur de la conduite et d'adapter les opérations de nettoyage.

**On ne désinfecte que ce qui est propre**

→ La caméra utilisée pour conduire les inspections ne doit pas être une nouvelle source de contamination. L'usage de caméra adaptée aux réseaux d'eaux usées est à proscrire.

### **Canalisations de faible diamètre ( $\leq 300$ mm), cas le plus fréquent pour les petites unités de distribution**

Le rinçage hydraulique à fort débit (permettant une vitesse d'écoulement de l'eau  $>1$  m/s) est de loin le moyen le plus efficace, l'écoulement fortement turbulent étant en général suffisant pour éliminer les matières solides.

Il pourra être complété ou remplacé par une injection d'air comprimé préalablement déshuilé avec de l'eau à un débit plus faible (0,5 m/s). On pourra également utiliser des torpilles ou obus racleurs, mais ils ont le désavantage de ne pas traiter correctement les joints voire d'y accumuler les matières solides.

Dans le cas particulier des canalisations anciennes, fortement incrustées, il est recommandé de mettre à nu la paroi à l'aide d'un obus racleur spécial puis de mettre en place un revêtement de protection (réhabilitation de conduite). La logistique du chantier et notamment la durée de la coupure d'eau doivent toutefois être adaptées.



### **Canalisations de grand diamètre (> 300 mm)**

Le rinçage fortement turbulent est difficile à obtenir. Les torpilles et obus racleurs ne sont pas adaptés. Un nettoyage au robot injectant de l'eau sous forte pression convient notamment lorsque conduire cette opération manuellement est irréaliste.

Ces nettoyages ont pour but de dissoudre les dépôts par attaque acide (carbonate), ou par réduction (oxyde de fer, de manganèse).

→ Ce type de nettoyage peut activer la corrosion (dans les conduites à base de fer) et conduire ultérieurement à une coloration de l'eau (rouge) voire à une accélération des percements. En canalisations en béton ou revêtues de ciment, l'attaque acide peut également se produire mais avec d'autres effets.

Respecter un délai maximum de 15 à 20 mn, entre la pulvérisation du produit et le rinçage, permettra d'éviter les désagréments cités ci-dessus.

### **Rinçages**

L'étape de nettoyage est toujours suivie d'un dernier rinçage efficace permettant d'éliminer la turbidité résiduelle. Il existe des moyens d'analyses de la turbidité adaptés au terrain (voire d'analyse du fer résiduel). En outre, le dernier rinçage est réalisé à un débit supérieur ou égal au débit d'utilisation de la canalisation. L'organisation du chantier doit donc le prévoir.

## **b.2 La désinfection**

### **Méthode de désinfection par un oxydant chloré**

- Méthode générale

La méthode de désinfection la plus courante est l'utilisation de chlore par introduction d'une solution d'hypochlorite de sodium (eau de Javel). La quantité de chlore introduite doit être telle que sa concentration s'homogénéise sur toute la section à désinfecter dès le début de la période de contact, et qu'une concentration résiduelle minimale soit détectable en fin d'opération. La consommation en chlore par l'eau contenue dans le tuyau à désinfecter est un paramètre important.

→ Une consommation importante de chlore révèle un nettoyage insuffisant et constitue un indicateur intéressant quant à l'efficacité de la désinfection. Dans ce cas, le responsable peut immédiatement recommencer le nettoyage puis la désinfection.

En outre, lors de l'introduction de la solution désinfectante, tous les éléments à désinfecter doivent être mis en contact avec la solution :

- les vannes et by-pass
- les bornes fontaines
- les soupapes ou ventouses
- les organes de vidange
- les bouches ou poteaux d'incendie
- les branchements le cas échéant

- Méthode particulière

Lorsque les conditions ne permettent pas de procéder à une désinfection permettant une période de contact de 24 heures, ou même d'une heure (cas d'un tronçon de raccordement), il est possible de procéder à une désinfection hors tranchée de la conduite.

Dans ces cas, la conduite est placée sur un appui de façon à ce qu'elle ait une légère pente. Une vadrouille imbibée d'une solution d'eau de Javel diluée (de façon à obtenir de 1 à 1,5 % de chlore, soit 10 à 15 g/l  $Cl_2$ ) est mise en contact avec la paroi interne de la conduite.

Une autre possibilité consiste à faire couler la solution à l'intérieur de la conduite en effectuant une rotation de celle-ci pour que le contact soit complet. Un bouchon peut être placé à l'extrémité basse de la conduite (cas de conduites de petit diamètre).

Il est essentiel d'installer la conduite sans la rincer pour permettre au chlore de poursuivre son action et protéger la canalisation contre d'autres contaminations lors des manipulations subséquentes. Le rinçage prévu en fin du chantier, avant la mise en service, permettra d'éliminer le chlore résiduel.

→ Durant les manipulations de désinfection avec une solution de 1 à 1,5% de chlore, il est essentiel d'éviter tout contact de la solution avec les yeux, la peau et les vêtements. En cas d'accident, il est recommandé de rincer abondamment avec de l'eau<sup>84</sup> et de consulter un médecin.

- Pose d'un branchement privé

Lors de la pose d'un branchement privé (avec un collier perforant la conduite de distribution), il est essentiel de laver la surface extérieure de la conduite pour éliminer les dépôts. Une désinfection par contact peut ensuite être effectuée avec une solution d'eau de Javel à 1% de chlore (voir plus haut).

L'appareil utilisé pour la perforation doit être propre et, s'il y a lieu, désinfecté au moyen de la solution désinfectante.

### **Évacuation de la solution désinfectante**

Après une période de contact prédéfinie, une mesure de concentration de chlore doit être effectuée afin de vérifier d'une part que le chlore a été injecté en quantité suffisante dans la conduite et/ou d'autre part que la consommation de chlore n'est pas trop importante.

La solution désinfectante est alors évacuée et remplacée par de l'eau du réseau (eau propre). La teneur en chlore résiduel mesurée dans la nouvelle canalisation doit être voisine de celle de l'eau introduite. Si exceptionnellement il s'agit d'eaux non traitées, il est souhaitable de maintenir une teneur de 0,1 mg/l de chlore.

Si la teneur en chlore dans l'eau à évacuer est supérieure à 0,5 mg/l, la solution vidangée ne doit pas être rejetée dans le cours d'eau (directement ou par un égout pluvial, par exemple), voire dans le réseau d'assainissement. Une neutralisation préalable à l'aide de thiosulfate de sodium, par exemple, ou une dilution avant rejet est nécessaire.

### **Contrôle de la désinfection (voir également chapitre 5 ci-après)**

C'est le producteur-distributeur d'eau qui a la responsabilité de ces contrôles.

Il est souhaitable que l'eau séjourne quelques heures dans la conduite afin de prendre en considération, lors de la mesure du chlore résiduel, les échanges entre l'eau et les parois. Un délai d'environ 24 heures est recommandé lorsque les conditions de service le permettent.

Les prélèvements d'échantillons destinés à l'analyse doivent être effectués dans des conditions de débit permettant une bonne représentativité de la mesure. Pour ces raisons, il est préférable d'effectuer les prélèvements après quelques minutes d'écoulement en des points représentatifs du tracé de la conduite tels que ventouses, branchements, décharges...

<sup>84</sup> Il est recommandé de disposer à proximité du chantier d'un tuyau d'arrosage branché en permanence

Les prélèvements doivent être effectués dans les 24 heures qui suivent la fin des opérations de nettoyage et de désinfection. Le programme analytique est présenté au 5.

Le préleveur effectue **sur place** les mesures physico-chimiques telles que l'analyse du chlore résiduel et la température. Toutefois, il peut être demandé au laboratoire de contrôler également les éléments suivants (même si nombre d'entre eux seront analysés en laboratoire) :

- **les paramètres physico-chimiques** : le pH, la couleur, l'ammonium (les nitrites) et si nécessaire le fer, la turbidité (l'augmentation de la turbidité doit rester inférieure à 0,5 NTU entre l'eau injectée du réseau et l'eau en sortie de canalisation à désinfecter)
- **le résiduel de chlore** doit être mesuré sur le terrain. La variation du résiduel de chlore doit rester inférieure à 0,5 mg/l sinon cela met en évidence soit un mauvais rinçage de la solution désinfectante ou tout autre oxydant, soit une désinfection insuffisante

### Recommandations

→ Si l'analyse des échantillons, effectués sur place et en laboratoire, montre que la conduite est désinfectée de façon satisfaisante, la remise en service est autorisée par le PRPDE (eau de qualité conforme aux exigences réglementaires).

Il peut arriver qu'un rinçage efficace complémentaire soit nécessaire, si des conditions de stagnation trop longues ont été observées (entre la fin des opérations de désinfection et la remise en service) ou si la turbidité apparaît légèrement supérieure à celle observée dans le réseau existant (différence de turbidité > 0,5 NFU). Le rinçage n'est toutefois pas suivi d'un contrôle analytique supplémentaire.

En revanche, si les conditions de désinfection sont jugées inacceptables en raison d'une contamination microbiologique excessive (au regard des résultats fournis par la laboratoire) ou parce que la turbidité est trop élevée (au moment du prélèvement), une reprise partielle ou totale de la procédure de désinfection sera nécessaire.

Dans des cas douteux (par exemple une contamination faible constatée par une numération des germes aérobies revivifiables de 2 à 3 log au-dessus de la normale), il peut être nécessaire avant toute décision de réaliser un nouveau prélèvement et une analyse contradictoire (cf logigramme du 5).

### b.3. Mise en service

Dès la validation de l'opération de désinfection, l'eau contenue dans la canalisation est évacuée avant mise en service en raison, notamment, de son éventuelle stagnation.

### b.4. Cas particulier des canalisations de diamètre inférieur à 40 mm

Pour les canalisations de diamètre inférieur à 40 mm, la procédure de nettoyage et de désinfection peut être limitée aux étapes 1), 2), 3) et 4) de la procédure complète définie en liminaire du b.

La remise en eau se fait donc sans contrôle analytique de vérification de l'efficacité de l'opération de nettoyage et de désinfection. L'ARS, informée des travaux, pourra programmer des analyses de surveillance de la qualité de l'eau distribuée dans la zone concernée par les travaux. Le service peut toutefois initier ces contrôles.

### c. Cas des nettoyages des réservoirs

La procédure générale de désinfection d'un réservoir comporte sept étapes, toutes essentielles pour le succès de l'opération. La procédure complète est particulièrement bien adaptée aux installations neuves et aux travaux de rénovation de grande envergure (pose d'un revêtement...).

Le séjour prolongé d'ouvriers dans les réservoirs qu'ils construisent ou réparent, leurs allées et venues incessantes de l'extérieur à l'intérieur du chantier introduisent dans les ouvrages, des substances minérales et organiques les plus diverses ainsi qu'une abondante flore microbienne.

Avant toute opération de désinfection, un nettoyage et un rinçage à grande eau sont indispensables pour éliminer toutes ces substances étrangères.

### **Précautions générales applicables aux travaux dans les réservoirs**

#### **Avant le chantier**

Il s'agit de mesures préalables à instaurer sur les chantiers se déroulant à l'intérieur des ouvrages d'eau potable. Le maître d'ouvrage est invité à procéder à une sensibilisation du responsable de chantier et du personnel de l'entreprise chargée des travaux, à la spécificité des lieux.

Les interventions à l'intérieur des ouvrages d'eau potable nécessitent de respecter les mesures suivantes :

- installer des bacs pédiluves contenant de l'eau chlorée (eau de Javel diluée à 10%) à l'entrée des ouvrages. Renouveler le contenu de ces bacs tous les 3 jours
- vérifier que le personnel soit muni de bottes propres dès le démarrage du chantier
- prévoir des vêtements de travail neufs ou propres, à changer tous les 3 jours environ
- s'équiper de balais neufs et de tuyauteries propres (pour le transport d'air, eau, etc.) et en excellent état
- installer des vestiaires à proximité immédiate des accès aux ouvrages
- mettre en œuvre des grillages à maille fine sur les ventilations ou les points d'évacuations de chantier pour éviter la pénétration d'animaux (oiseaux, rongeurs...)
- fermer les accès aux ouvrages en dehors des heures de travail
- surveiller les accès aux chantiers pendant les heures de travail

#### **Avant l'opération de désinfection**

Dès la fin des travaux et de l'opération de nettoyage mécanique ou chimique, toutes les personnes qui doivent tout de même pénétrer dans les ouvrages, doivent se protéger pour éviter d'y introduire des substances polluantes (lavage des bottes et passage dans une solution d'eau de Javel commerciale diluée 100 fois).

→ Durant les manipulations de désinfection avec une solution de 1 à 1,5% de chlore, il est essentiel d'éviter tout contact de la solution avec les yeux, la peau et les vêtements. En cas d'accident, il est recommandé de rincer abondamment avec de l'eau<sup>85</sup> et de consulter un médecin.

Une visite complète des ouvrages par un responsable, est obligatoire avant la remise en service afin de vérifier et contrôler l'absence d'objets indésirables. Au fur et à mesure de la visite, les accès doivent être fermés.

### **Chronologie des opérations de nettoyage et de désinfection des réservoirs** (protocole comprenant les points 1) à 7))

La chronologie des opérations à respecter pour le nettoyage annuel des réservoirs ou après travaux, est la suivante:

#### **1. Protection efficace contre les contaminants éventuels**

- isolement et vidange du réservoir ou de la cuve
- élimination des dépôts sur les parois, les poteaux et les radiers
- examen des structures et réparation éventuelle (notamment les pièces métalliques)
- visite obligatoire après les travaux

<sup>85</sup> Par exemple en disposant un tuyau d'arrosage branché en permanence à proximité.

2. Nettoyage lorsque des travaux ont été effectués et rinçage
3. Désinfection des installations
4. Évacuation de la solution désinfectante, remplissage sur une hauteur de 1 m au moins, par l'eau du réseau
5. Contrôle analytique de l'efficacité du nettoyage et de la désinfection
6. Validation avant remise en service
7. Remise en service

### Précaution particulière

Avant la désinfection, il est indispensable d'effectuer un nettoyage pour éliminer les dépôts introduits par l'eau et par les travaux sur les parois et en fond de cuves.

→ Un impératif : l'immobilisation du réservoir doit être la plus courte possible.

En ce qui concerne le nettoyage, il peut être :

**Mécanique** : par brossage ou raclage. Ce procédé est long et parfois inadapté aux besoins et impératifs de la distribution d'eau (écourter les travaux au maximum).

**Chimique** : il existe actuellement des formulations chimiques permettant le nettoyage des réservoirs. Ces formulations doivent être autorisées par le Ministère chargé de la Santé ([se référer à la circulaire établissant la liste des produits autorisés](#)). Ce nettoyage ne doit pas détériorer les ouvrages.

La désinfection s'effectue, après le nettoyage du réservoir, par pulvérisation sur les parois d'une solution désinfectante autorisée par le Ministère chargé de la Santé. Il est recommandé de suivre le protocole approuvé lors de la procédure d'agrément du produit. Si une solution d'hypochlorite de sodium est utilisée, la concentration en chlore doit être de 10 g/L. Après application sur les parois, le réservoir est rempli sur environ 1 mètre de hauteur pour désinfecter le radier. La concentration en chlore libre dans l'eau stockée doit être d'au moins 2 mg/l. Après 12 heures de contact, on procédera à la vidange puis à un nouveau remplissage du réservoir sur 1 mètre de hauteur.

→ Si le désinfectant utilisé est de l'eau oxygénée, ce réactif est un réducteur vis-à-vis du chlore. Il est impératif de garantir son élimination totale avant remise en service surtout si la désinfection de l'eau mise en distribution se fait à l'entrée du réservoir.

Des prélèvements et analyses seront effectués en plusieurs points. Si les résultats sont satisfaisants, le réservoir peut être remis en eau. Lorsqu'il y a urgence, cette opération est initiée sans attendre les résultats d'analyses. La traçabilité de toutes les actions effectuées contribue à la bonne marche de l'opération.

### Évacuation de la solution de nettoyage et désinfectante

Lors d'un nettoyage chimique, la solution résultant du nettoyage est très acide. Il est primordial que cette solution ne détériore pas l'ouvrage par un contact trop prolongé. En général, le temps de contact maximal est de 20 mn. Il faut donc prévoir le passage du produit mais également son rinçage dans ce délai. Les parties les plus vulnérables sont les parties basses des ouvrages (le premier mètre).

En outre, en fonction des quantités de solution utilisées et de son pH, une neutralisation peut s'avérer nécessaire avant tout rejet dans le milieu naturel, le réseau pluvial, ou le réseau d'assainissement.

### Solution désinfectante

Après une période de contact prédéterminée, une mesure de la concentration en réactif bactéricide : chlore, eau oxygénée, doit être effectuée afin de vérifier si la quantité de bactéricide a été injectée en quantité suffisante dans le réservoir ou si la consommation en bactéricide n'est pas trop importante.

La solution désinfectante est alors évacuée vers le réseau d'assainissement ou le milieu récepteur (le cas échéant d'abord neutralisée) puis remplacée sur 1 m de hauteur par de l'eau du réseau.

Si la teneur en chlore est supérieure à 0,5 mg/l, la solution vidangée ne doit pas être rejetée dans le cours d'eau (par un égout pluvial, par exemple, voire même en réseau d'assainissement). Une neutralisation préalable à l'aide de thiosulfate de sodium (par exemple) ou une dilution avant rejet doit être effectuée.

### **Contrôle de la désinfection**

Si les résultats des analyses montrent que le réservoir ou la cuve ont été désinfectés de façon satisfaisante, la remise en service est autorisée. Une demande de rinçage complémentaire peut être exigée si la stagnation de l'eau du réservoir a été trop longue (entre la fin des opérations de désinfection et la remise en service ou si la turbidité apparaît légèrement supérieure à celle observée dans l'eau introduite dans le réservoir ou la cuve -différence de turbidités > 0,5 NFU). Le rinçage supplémentaire n'est pas suivi d'un contrôle analytique.

Dans des cas où les résultats des analyses laissent un doute (par exemple une contamination faible avec une numération de germes aérobies revivifiables 2 à 3 log de plus que la normale), il peut être nécessaire de réaliser un prélèvement de contrôle supplémentaire. Si ces derniers résultats confirment la qualité de la désinfection, la remise en eau est autorisée.

### **Cas particulier**

Lorsque sur du long terme, l'eau distribuée ne présente aucun signe de dégradation, sa qualité (numération de germes revivifiables, fer, manganèse, turbidité) peut être jugée stable, la collectivité peut demander au Préfet du département de réduire la fréquence de vidange, de nettoyage et de rinçage du réservoir. La décision est prise après avis de l'ARS.

## **d. Procédures allégées**

### **Principaux cas**

Dans des conditions particulières, la désinfection "type" telle qu'elle est présentée dans le précédent paragraphe est toutefois difficile à respecter (urgence, canalisations de très gros ou de très petits diamètres, réservoirs uniques sans maillage de réseaux...).

Les délais requis notamment pour attendre les résultats des analyses peuvent s'avérer difficiles à respecter (pour ne pas couper l'eau trop longtemps par exemple). C'est notamment le cas lors d'accidents ou ruptures des canalisations, qui se traduisent par :

- des conditions de travail généralement contaminantes
- des conditions qui rendent difficiles les opérations de nettoyage et de désinfection
- la nécessité de remettre rapidement en service la canalisation

En dehors de ces cas exceptionnels, d'autres situations peuvent nécessiter une procédure allégée. C'est notamment le cas pour :

- des travaux programmés (petites réparations ou réalisation de branchements) pour lesquels le délai de remise en service ne permet pas de suivre en totalité toutes les phases de la procédure générale
- les interventions longues sur des tronçons non isolables (supérieures à 6 heures)
- les réservoirs d'eau impossible à isoler parce qu'ils conditionnent la distribution
- les aqueducs à plan d'eau libre pour lesquels l'attente des résultats de bactériologie nécessite la mise en décharge de grandes quantités d'eau pendant des périodes de 24 à 48 heures

### **Propositions de protocoles allégés**

#### **→ Canalisations**

Les points 1) à 5) du protocole général présenté au b s'appliquent, les concentrations en désinfectants les plus élevées et les temps de contact les plus courts seront privilégiés.

Le prélèvement et l'analyse de vérification de la désinfection sont maintenus mais la remise en service est autorisée **avant la réception des résultats d'analyses**.

→ En outre, le service peut prendre des mesures accompagnant la remise en eau anticipée, en avertissant la population et en sur-chlorant l'eau provisoirement sous réserve de l'accord de l'autorité sanitaire ARS. Ce dispositif nécessite d'assurer une surveillance analytique renforcée.

Lorsque la situation normale est rétablie, les abonnés sont informés de la fin de la période de risque.

#### → Réservoirs

Pour les réservoirs non isolables, les étapes 1), 2), 3), 4), 5) et 7) du c sont réalisées.

### 5. Contrôles à effectuer - obligations à satisfaire : information ARS

Après réalisation de travaux, les opérations de désinfection sont imposées par la législation en vigueur, la responsabilité de cette opération revient à l'exploitant du service de distribution. La PRPDE reste toutefois responsable de l'application de ces protocoles et de la qualité de l'eau qui en résulte.

En conséquence l'exploitant du réseau se doit de respecter :

- des obligations de moyens
- des obligations de déclaration
- des obligations de résultats

#### ***Obligations de moyens (traçabilité des opérations)***

La figure n°1 ci-après donne la chronologie des différentes opérations de désinfection et les contrôles analytiques à effectuer.

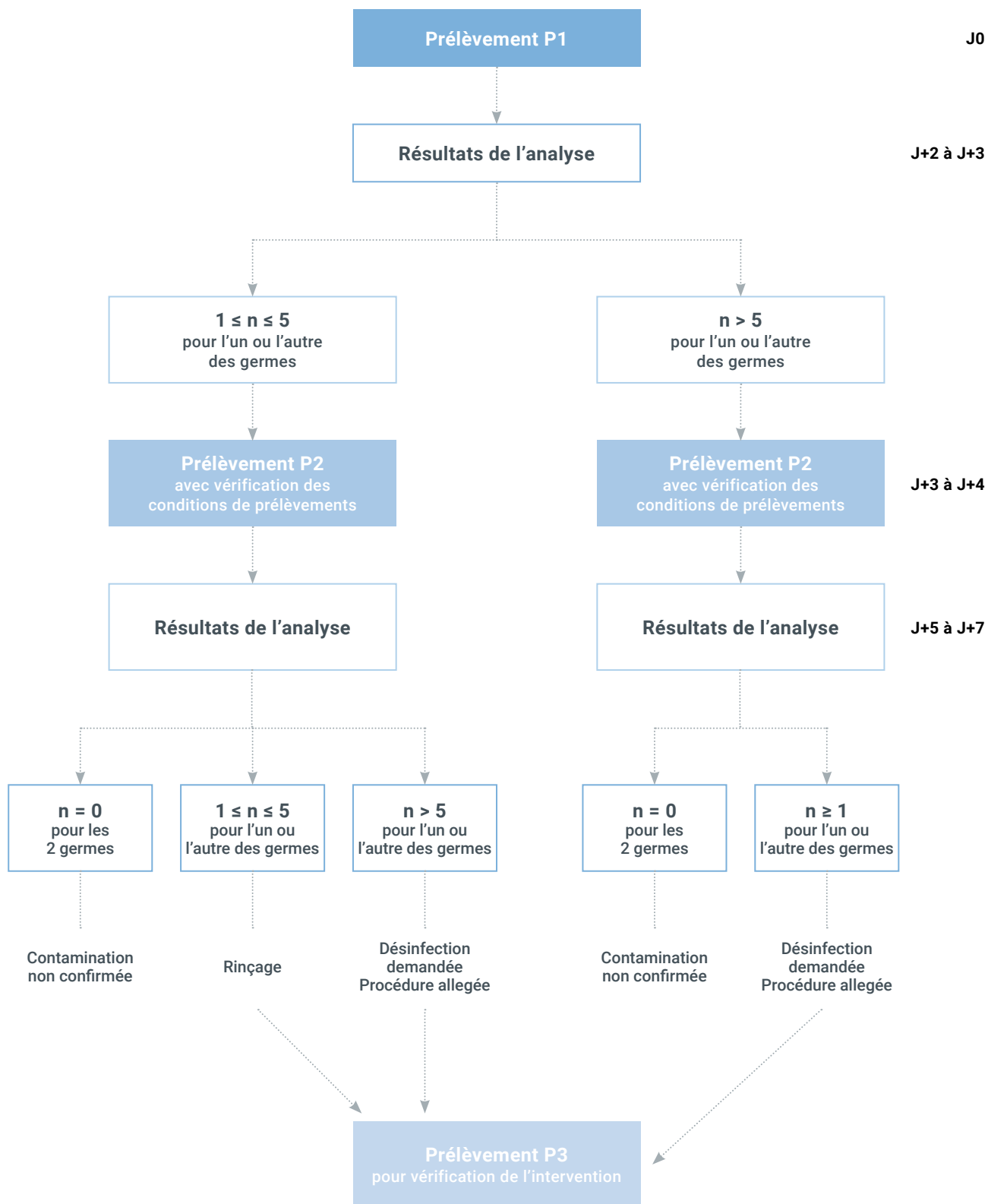
L'exploitant tient par ailleurs un registre mentionnant les différentes opérations réalisées et les contrôles qu'il a effectués, le taux de traitement, le temps de contact, la consommation en oxydant, les rinçages ainsi que le(s) résultat(s) d'analyses microbiologiques et physico-chimiques (l'ensemble est consigné dans le carnet sanitaire). Le dernier rinçage respecte le débit d'utilisation de la conduite sauf si d'autres moyens sont mis en œuvre pour éliminer les particules résultant des travaux ou de l'arrêt de l'ouvrage.

#### ***Obligations de déclaration***

L'exploitant doit informer l'ARS des opérations de désinfection réalisées. Cette déclaration doit être déposée au service de l'ARS avant le démarrage des opérations de nettoyage et désinfection. Elle précise le lieu de l'intervention.

Dans sa déclaration à l'autorité sanitaire, le distributeur d'eau précisera le degré d'urgence de la remise en service du réseau.

Points représentatifs de la qualité de l'eau dans le réseau public de distribution - Coliformes thermotolérants - streptocoques fécaux - n nombre de germes



Source : publication Ministère de la santé



## Obligations de résultats

Après le dernier rinçage, le contrôle analytique effectué, **en laboratoire**, sur des échantillons prélevés après 12 heures de contact au moins (24 heures dans la mesure du possible), permet de vérifier que l'eau contenue dans l'ouvrage présente une qualité conforme à la réglementation.

Les paramètres à analyser sont (analyse type D1 au sens de l'arrêté du 7 janvier 2011 modifié, à quelques éléments près) :

### 1. Paramètres physico-chimiques

- pH
- turbidité
- couleur
- si nécessaire, le fer
- ammonium
- nitrites
- résiduel de désinfectant (chlore) mesuré sur le terrain
- pour les réservoirs, le résiduel de produit de nettoyage lorsque les conditions d'utilisation le spécifient

### 2. Paramètres microbiologiques

- E. Coli.
- Entérocoques intestinaux
- dénombrement des bactéries revivifiables à 22°C et 36°C (à condition que le prélèvement ait été fait dans les 24 heures qui suivent la fin de l'opération)

Les résultats de E. Coli sont interprétés 24 heures après mise en culture et 48 heures pour les entérocoques intestinaux. Il est aussi possible d'utiliser des méthodes dont le temps de réponse est plus court.

Au-delà de 24 heures, une première décision peut ainsi être prise si les résultats confirment le bon déroulement de l'opération de désinfection.

- Contrôles sur canalisations

→ La procédure de nettoyage et de désinfection est considérée comme satisfaisante lorsque les conditions suivantes sont respectées :

- Les valeurs limites et de référence définies dans l'arrêté du 11 janvier 2007, sont respectées: pH, couleur, ammonium, nitrite, fer

#### Analyses physico-chimiques

- Turbidité : l'écart de turbidité entre l'eau introduite dans la canalisation et l'eau y qui a stagné après l'élimination de la solution désinfectante doit être inférieure à 0,5 NFU.
- Teneur en chlore : au moment du prélèvement pour l'analyse bactériologique, la différence entre la concentration en chlore dans l'eau introduite et dans l'eau analysée doit être inférieure à 0,5 mg/l.

#### Analyses bactériologiques

- E. Coli : absence dans 100 ml d'eau
  - Entérocoques intestinaux : absence dans 100 ml d'eau
  - Coliformes thermo tolérants : absence dans 100 ml d'eau
  - Numération de germes aérobies :
    - À 22° , Variation < 1 log dans la zone concernée
    - À 36° , Variation < 1 log dans la zone concernée
- ) par rapport à la normale

- Contrôles en réservoirs

- La procédure de nettoyage et de désinfection est considérée comme satisfaisante lorsque les conditions suivantes sont respectées :
- les résultats respectent les valeurs limites et de référence définies dans l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine pour les paramètres : pH, couleur, ammonium, nitrite, fer.

**Analyses physico-chimiques**

- l'augmentation de la turbidité entre l'eau contenue dans le réservoir et l'eau du réseau reste inférieure à 0,5 NFU.
- au moment du prélèvement, le résiduel de désinfectant doit être, inférieur à 0,5 mg/l, pour le chlore, inférieur à 0,1 mg/l, pour l'eau oxygénée, quand le réservoir sert de cuve de contact pour la désinfection de l'eau. Dans les autres cas, ce résiduel doit être inférieur à 0,5 mg/l.

**Analyses bactériologiques**

- E. Coli : absence dans 100 ml d'eau
- Entérocoques intestinaux : absence dans 100 ml d'eau
- Coliformes thermo tolérants : absence dans 100 ml d'eau
- Le dénombrement des bactéries revivifiables à 36°C, lu après 24 heures pour les germes à 36°C et 72 heures pour germes à 22°C, présente une variation (dans la zone concernée) < 1 log par rapport à la normale.

**Recommandation de mise en service ou reprise de procédures**

- Lorsqu'il est constaté, pour les paramètres physico-chimiques
- une différence de turbidité  $\geq 0,5$  NFU
  - un résiduel de chlore  $> 0,5$  mg/l
- Un rinçage supplémentaire est demandé avant d'effectuer les opérations de prélèvement et d'analyse.

**Pour les paramètres microbiologiques**

- La présence de coliformes thermotolérants, d'entérocoques intestinaux induit :
- 1<sup>er</sup> cas :**
- $1 \leq n < 5/100$  ml pour l'un ou l'autre des coliformes
- Un rinçage supplémentaire est effectué avec contrôle analytique de son efficacité.
- Si ce résultat est confirmé, il est nécessaire de reprendre complètement l'opération de désinfection avec contrôle analytique de l'efficacité de l'opération.
- 2<sup>ème</sup> cas :**
- Si  $n > 5/100$  ml pour l'un ou l'autre des paramètres
- La reprise complète de l'opération de désinfection avec contrôle analytique de l'efficacité de l'opération est indispensable.

## 6. Gestion des situations de non-conformité

Les résultats non conformes peuvent être obtenus soit :

1. À partir de plaintes de consommateurs, ils seront ensuite confirmés par de nouvelles analyses microbiologiques
2. À partir d'analyses du contrôle officiel de la qualité de l'eau, ou des résultats de l'auto surveillance de l'exploitant.
3. À partir d'épidémie signalée par les médecins puis l'autorité sanitaire.

Dès la détection de la non-conformité, le service d'eau doit informer l'ARS (si l'information ne vient pas de ces services) qui jugera des éventuelles conséquences sur la qualité et des actions correctives à mettre en oeuvre (limitation de la consommation, limitation pour certains types d'abonnés, interdiction...).

→ Le service doit pour sa part

- Informer les abonnés en reprenant les préconisations de l'ARS
- Lancer des analyses de contrôles
- Identifier la nature du paramètre ayant généré la non-conformité et essayer de la corréliser avec une origine possible notamment en s'appuyant sur les informations contenues dans le carnet sanitaire qui doit permettre de retracer toutes les actions effectuées sur le réseau
- Croiser cette analyse avec une auscultation très fine du réseau et lancer, le cas échéant, une multitude d'analyses pour localiser la propagation de la pollution
  - Sur la ressource brute
  - Sur la chaîne de traitement
  - Sur le linéaire de réseau
  - Au point de livraison d'abonnés (notamment si la source peut être un retour d'eau)
- Sectoriser au mieux l'origine géographique de la pollution et isoler ce secteur (en fonction de la présence de vannes et de leur étanchéité réelle...)
- Purger le réseau et désinfecter le réseau (branchements compris)
- Présenter le mode opératoire et les analyses contradictoires envisagées puis initiées à l'ARS
- Mettre en place les mesures correctives adéquates
- Négocier avec le laboratoire pour obtenir des résultats dans les meilleurs délais
- Et surtout maintenir une information permanente et rigoureuse (pas d'informations contradictoires) des abonnés (pour éviter les bruits et leurs dérives médiatiques), notamment en précisant
  - L'état de la qualité de l'eau et les conseils quant aux conditions de consommation (fixés par l'ARS)
  - La Progression dans les recherches de la cause
  - Justifier à posteriori de l'origine de la pollution
  - Rassurer quant à la prise en main du problème par le service (et coordonner les réponses avec l'ARS)
- Palier aux restrictions voire interdictions en approvisionnant (en bouteilles d'eau) les abonnés pénalisés

Enfin, lorsque la situation sera rétablie, le service d'eau se doit d'établir un rapport mentionnant à l'ARS les dispositions envisagées pour anticiper de telles situations à l'avenir. En outre, le service peut procéder rétrospectivement à une analyse des forces et faiblesses de l'organisation du service pour en améliorer la réactivité et l'efficacité lors d'une prochaine déconvenue.



## XI. Glossaire

### → A

**ANSES** : Agence nationale de sécurité de l'environnement et de la santé.

**AFSSA** : Agence française de sécurité de la santé et de l'alimentation, a été remplacée par l'ANSES.

**ARS** : Agence régionale de santé.

**Acides humiques et fulviques** : ce sont des matières organiques naturelles que l'on retrouve dans les eaux, elles correspondent à la fin de dégradation de composés d'origines animales ou végétales. La distinction entre acides humiques et fulviques se fait par leur solubilité dans des solutions acides ou alcalines ;

**ACS** : Attestation de conformité sanitaire, concerne des matériaux en contact avec l'eau (EDCH).

**AMPA** : Acide amino méthyle phosphonique c'est un produit de dégradation du glyphosate ou un "anti calcaire" ajouté dans les lessives pour le linge.

**Autotrophe** : concerne des bactéries qui utilisent comme accepteur d'oxygène des éléments minéraux : dénitrification à l'aide de soufre, sulfures, hydrogène.

### → B

**Bactério-statique** : c'est un réactif ajouté à l'eau qui a pour but de limiter les proliférations bactériennes dans le réseau de distribution, cela concerne le chlore ou le bioxyde de chlore.

**Break-point** : c'est la courbe effectuée en laboratoire qui permet, en présence d'ammonium dans l'eau, de connaître la quantité de chlore à ajouter pour avoir ensuite un résiduel de chlore libre désinfectant.

### → C

**COT** : Carbone organique total, il correspond à la teneur totale en matières organiques de l'eau.

**COD** : Carbone organique dissous. En présence de chlore, il peut donner des composés organochlorés dont les principaux sont le trihalométhane : THM.

**CODB** : fraction du carbone organique dissous qui est biodégradable ; sa présence dans l'eau traitée peut induire des proliférations bactériennes dans le réseau de distribution.

**CODR** : Carbone organique dissous réfractaire, qui ne sera pas biodégradé.

**CAG** : Charbon actif en grain.

**CAP** : Charbon actif en poudre.

**CT** : C'est une nouvelle approche de la garantie de désinfection par un réactif chimique (Chlore, bioxyde de chlore, ozone), c'est le produit du résiduel de réactif désinfectant après un temps de contact donné multiplié par ce temps de contact réel.

**CT<sub>10</sub>** : Comme le temps de contact réel est difficile à connaître, on prend le temps T10 : c'est-à-dire le temps nécessaire pour récupérer 10% d'un composé qui a été injecté en tête d'un réacteur à caractériser.

**CODERST** : Comité départemental de l'environnement des risques sanitaires et technologiques.

**CU Coefficient d'uniformité** : Il sert à caractériser l'homogénéité d'un matériau granulaire, il correspond au rapport :  $D_{60}/D_{10}$ .

**Conductivité** : l'eau est un conducteur. Plus la conductivité est élevée plus l'eau est minéralisée et inversement.

### → D

**DJA** : Dose journalière admissible.

**DJT** : Dose journalière tolérable, a remplacé la DJT.

**DOM** : Département d'outre-mer.

**D<sub>10</sub>** : Lors de l'étude granulométrique d'un matériau granulaire, le D<sub>10</sub> correspond sur la courbe granulométrique au diamètre des particules qui correspond à 10% de la masse totale de matériau granulaire testée.

**D<sub>60</sub>** : Lors de l'étude granulométrique d'un matériau granulaire, le D<sub>60</sub> correspond sur la courbe granulométrique au diamètre des particules qui correspond à 60% de la masse totale de matériau granulaire testée.

**Dalton** : C'est une unité de masse atomique utilisée pour caractériser les membranes d'ultra-filtration ou de nano-filtration. La détermination de la porosité de ces membranes est effectuée à l'aide de protéine ou de macro-molécules (Polysaccharides) de masse élevée. Une porosité de membrane de 200 000 Daltons signifie qu'une protéine de masse 200 000 est retenue à 90%.

→ E

**EDCH** : Eau destinée à la consommation humaine.

**ETBE** : Ethyle terbutyle ether : c'est un additif des essences sans plomb.

**EDTA** : Complexant utilisé dans certaines lessives ou pour le lavage chimique des membranes d'ultra-filtration. (Acide éthylène diamine tétra acétique). Ce composé est un très bon complexant des métaux lourds et empêche leur élimination.

→ F

→ G

**GEH** : Nom commercial d'un adsorbant sélectif utilisé pour la rétention de l'arsenic, du sélénium, de l'antimoine, de l'uranium etc constitué d'oxy-hydroxyde de fer sous forme de nano-tubes, cet adsorbant est non régénérable.

→ H

**Hétérotrophe** : les bactéries hétérotrophes utilisent des matières organiques comme accepteur d'oxygène : Dénitrification par utilisation d'un substrat carboné : alcool éthylique, acide acétique.

**Hydrophobe** : Une molécule organique hydrophobe est une molécule qui se dissout très mal dans l'eau, mais très bien dans des solvants organiques. Les molécules hydrophobes sont très bien éliminées par adsorption sur du charbon actif.

**Hydrophile** : Une molécule organique hydrophile est une molécule qui se dissout très mal dans les solvants organiques, mais très bien dans l'eau. Les molécules hydrophiles sont très mal éliminées par adsorption sur du charbon actif.

**Henry** : La constante de Henry correspond au rapport, à l'équilibre, de la concentration d'un composé volatil dans l'air / Concentration du composé dans l'eau. Pour un composé donné plus la valeur est élevée, plus il sera aisé de l'éliminer par aération plus ou moins forcée. Plus cette valeur est élevée, plus il est difficile d'éliminer le composé par adsorption sur du charbon actif.

→ I

→ J

→ K

**Karstique** : Une eau Karstique est une eau souterraine influencée par des eaux de surface qui circule dans des "rivières souterraines" obtenues par dissolution par l'eau du calcaire.

**KOW** : Cela correspond au rapport de concentration d'une molécule organique dans un solvant non miscible à l'eau et l'eau. Le solvant organique utilisé est l'octanol :  $KOW = \frac{\text{concentration de la molécule dans l'octanol}}{\text{concentration de la molécule dans l'eau}}$ . Plus ce rapport est élevé plus la molécule est hydrophobe et inversement.

→ L

→ M

**MTBE** : Méthyle terbutyle ether : c'est un additif des essences sans plomb.

**Métabolite** : produit de transformation biologique d'un composé organique. Attention dans la directive européenne le mot "métabolite" inclut aussi les produits de réaction avec des composés chimiques oxydants.

**MAERL** : c'est un calcaire corallier qui était utilisé pour la reminéralisation des eaux. A ce jour, son usage est interdit.

→ N

**NFU** : Unité internationale de turbidité qui utilise comme étalon la Formazine : Néphélométrie Formazine Unit. L'unité NFU a remplacé l'unité NTU car la longueur d'onde du rayonnement a été modifiée.

**NTU** : Unité néphélométrique de turbidité.

**NTA** : Complexant utilisé dans certaines lessives. (Acide nitrilotriacétique). Ce composé est un très bon complexant des métaux lourds et empêche leur élimination.

→ O

→ P

**Pré-polymère** : Cela concerne les sels d'aluminium pré-neutralisés par de la soude ou du silicate de sodium.

**Potentiel zéta** : cela correspond à la charge d'une particule colloïdale en équilibre avec les ions d'une solution. Plus ce potentiel est élevé plus la solution colloïdale sera stable. Pour déstabiliser ces solutions il faudra donc annuler ce potentiel Zéta par ajout d'un colloïde de charge inverse. Il se mesure en mVolts.

**pH** : Le pH d'une solution est le logarithme décimal (changé de signe) de la concentration en ions  $H^+$  d'une solution.

**pKa** : Pour un acide faible, le pKa est le logarithme (changé de signe) du coefficient de partage de la forme acide moléculaire et de la forme dissociée, par exemple pour le chlore en solution :  $HOCl = H^+ + OCl^-$  :  $K_a = \frac{[H^+][OCl^-]}{[HOCl]}$

**Permsélective** : Une membrane d'électrodialyse sera permsélective si elle a une sélectivité vis-à-vis de certains ions.

→ Q

→ R

**rH** : Le rH est le logarithme décimal changé de signe de la pression d'hydrogène gazeux en équilibre avec les ions  $H^+$  présents dans la solution. Dans ce guide figure un abaque qui permet de connaître le rH à partir du pH et du potentiel d'oxydo-réduction.

→ S

**Stripping** : Anglicisme qui correspond à un traitement par aération forcée.

→ T

**THM** : Tri halo méthanes : composés halogénés du méthane formés lors de la chloration des eaux contenant des matières organiques : acides humiques.

**TOM** : Territoires d'outre-mer.

**TAC** : Titre alcalimétrique complet.

**TH** : Titre hydrotimétrique, correspond à la dureté de l'eau.

→ U

→ V

**Van der Waals** : Ce sont des forces d'attraction de faible énergie, qui s'exercent quand des molécules sont très proches l'une de l'autre.

**Valence** : La valence d'un atome correspond au nombre d'électrons que cet atome a perdus ou pris. L'oxydation correspond à une perte d'électrons :  $Mn_{VII}$  est un atome de manganèse qui a perdu 7 électrons,  $Fe_{III}$  est un atome de fer qui a perdu 3 électrons.

**La réduction correspond à un gain d'électrons** :  $N_{III}$  est un atome d'azote qui a 3 électrons de plus.

→ W

→ X

→ Y

→ Z

Ce guide est édité par la Fédération nationale des collectivités concédantes et régies (FNCCR). Il comprend deux parties.

20, boulevard de la Tour-Maubourg - 75007 Paris  
Tél : 01 40 62 16 40

Créée en 1934, la Fédération nationale des collectivités concédantes et régies (FNCCR) est une association regroupant plus de 700 collectivités territoriales et établissements publics de coopération, spécialisés dans les services publics d'électricité, de gaz, d'eau, assainissement, gestion des milieux aquatiques, protection contre les inondations, de communications électroniques, de valorisation des déchets, que ces services soient délégués (en concession) ou gérés directement (en régie).



[www.fnccr.asso.fr](http://www.fnccr.asso.fr)  
[www.energie2007.fr](http://www.energie2007.fr)  
[www.france-eaupublique.fr](http://www.france-eaupublique.fr)  
[www.servicedeau.fr](http://www.servicedeau.fr)  
[www.telecom2012.fr](http://www.telecom2012.fr)  
[www.territoire-energie.com](http://www.territoire-energie.com)

**Suivez-nous sur twitter :**

@fnccr  
@energie2007  
@fnccr-dechets  
@twitteau  
@telecom2012  
@chaleur\_fnccr