

**MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DE  
L'ALIMENTATION, DE LA PECHE ET  
DES AFFAIRES RURALES**

**Direction de l'Espace Rural et de la  
Forêt**

**DOCUMENT TECHNIQUE**

**FNDAE**

**HORS SERIE N°12**

# **LA DEGRADATION DE LA QUALITE DE L'EAU POTABLE DANS LES RESEAUX**

**Rédigé par Jean-luc CELERIER et Jean-Antoine FABY  
Mis à jour par Ghislain LOISEAU et Catherine JUERY**

**FONDS NATIONAL POUR LE  
DEVELOPPEMENT DES  
ADDUCTIONS D'EAU**



**Office International de l'Eau  
SNIDE**

# Sommaire

<b>1 - Réglementation.....</b>	<b>4</b>
<b>2 - Facteurs à l'origine de la dégradation de la qualité de l'eau dans les réseaux.....</b>	<b>9</b>
<b>2.1 Introduction.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2 Les phénomènes biologiques.....</b>	<b>9</b>
2.2.1 D'où viennent les microorganismes ?.....	9
2.2.2 Formation du biofilm et caractéristiques .....	10
2.2.3 Les principaux organismes susceptibles d'être présents dans les réseaux.....	13
2.2.4 Facteurs jouant un rôle dans la reviviscence.....	14
2.2.5 Mesures de la reviviscence bactérienne.....	15
2.2.6 Conséquences d'un accroissement du biofilm et contrôle de son évolution.....	16
<b>2.3 Facteurs physicochimiques influençant la dégradation de la qualité de l'eau .....</b>	<b>17</b>
2.3-1 pH et minéralisation .....	17
2.3-2 Température .....	17
2.3-3 Oxygène dissous .....	17
2.3-4 Turbidité.....	18
2.3-5 Ammonium.....	18
2.3-6 Matières organiques.....	19
2.3-7 Désinfectant résiduel.....	21
2.3-8 Les facteurs organoleptiques : indicateurs de qualité.....	21
2.3-9 Influence des phénomènes de corrosions sur la qualité de l'eau.....	22
<b>2.4 - Facteurs de dégradation liés à la conception ou à la gestion du réseau .....</b>	<b>22</b>
2.4-1 L'hydraulique du réseau .....	22
2.4-2 Influence du choix des matériaux.....	23
2.4-3 Origine des altérations de la qualité de l'eau potable .....	24
<b>3 - consignes et procédures pour limiter le risque de contamination et de dégradation de la qualité .....</b>	<b>27</b>
<b>3.1 La qualité de l'eau produite .....</b>	<b>27</b>
3.1-1 Traitements de désinfection.....	27
3.1-2 Réduction des éléments nutritifs .....	30
<b>3.2 La conception et le dimensionnement des réseaux .....</b>	<b>32</b>
3.2-1 Les matériaux à utiliser.....	32
3.2-2 Conception des ouvrages de stockage .....	36
3.2-3 Conception des points singuliers : ventouses/vidanges .....	40
<b>3.3 L'exploitation du réseau .....</b>	<b>41</b>
3.3-1 La connaissance du réseau.....	41
3.3-2 Les purges sur le réseau .....	41
3.3-3 Nettoyage et réhabilitation des canalisations .....	42
3.3-4 Pratique des arrêts d'eau.....	43
3.3-5 Nettoyage et désinfection du réseau après intervention (Travaux neufs et réparation).....	44
3.3-6 Nettoyage et désinfection des réservoirs .....	44
3.3-7 Consignes diverses à suivre en cours d'exploitation.....	46
3.3-8 Maintien d'un résiduel de chlore et mise en place de chloration intermédiaire .....	47
3.3-8 Prévention contre les legionelloses .....	47
<b>3.4 La protection sanitaire contre les retours d'eau.....</b>	<b>48</b>
3.4-1 Législation .....	48
3.4-2 Les origines hydrauliques .....	48
3.4-3 Les installations à risque.....	49
3.4-4 Les appareils de protection.....	50
<b>4 - L'analyse du risque dans la distribution d'eau potable.....</b>	<b>52</b>

<b>4.1 Le suivi de la qualité de l'eau dans les réseaux .....</b>	<b>52</b>
4.1-1 La réglementation.....	52
4.1-2 Stratégie d'échantillonnage.....	56
4.1-3 Les mesures en continu .....	57
4.1-4 Analyse de risque dans les ouvrages de transport (aqueducs, feeders) et de stockage (réservoirs).....	59
<b>4.2 La modélisation.....</b>	<b>59</b>
4.2-1 Le modèle hydraulique.....	60
4.2-2 Le modèle qualité .....	60
4.2-3 Quelques exemples de modèles utilisés .....	62
<b>ANNEXES .....</b>	<b>63</b>
<b>ANNEXE 1 .....</b>	<b>64</b>
<b>ANNEXE 2 .....</b>	<b>65</b>
<b>ANNEXE 3 .....</b>	<b>66</b>
<b>ANNEXE 4 .....</b>	<b>68</b>
<b>ANNEXE 5 .....</b>	<b>69</b>
<b>ANNEXE 6 .....</b>	<b>77</b>
<b>ANNEXE 7 .....</b>	<b>80</b>
<b>ANNEXE 8 .....</b>	<b>84</b>
<b>ANNEXE 9 .....</b>	<b>86</b>
<b>ANNEXE 10.....</b>	<b>88</b>
<b>ANNEXE 11.....</b>	<b>89</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>90</b>

# 1 - Réglementation

Dès la fin du XIX<sup>e</sup> siècle des textes ministériels évoquent le régime des eaux au point de vue de la salubrité publique. C'est ainsi que la circulaire ministérielle du 10 décembre 1890 précise que pour apprécier la salubrité, l'analyse chimique d'une eau destinée à la consommation doit être complétée par une analyse microbiologique même si les modalités ne sont guère précisées (examen microscopique).

La loi sur l'hygiène publique de 1902 visait déjà à prévenir l'extension des maladies infectieuses en instaurant des préventions au niveau de l'environnement (protection des captages d'eaux potables, lutte contre l'habitat insalubre, ... ), et plus particulièrement dans le domaine de la santé (établissement d'une liste de maladies transmissibles à déclaration obligatoire,...).

C'est à cette époque que se met déjà en place l'organisation administrative de la nation avec entre autres le Conseil Consultatif d'Hygiène Publique de France et les conseils départementaux d'hygiène.

Les instructions ministérielles de 1929 définissent l'essentiel de la panoplie des procédés de traitement d'eau potable utilisables qui est encore aujourd'hui utilisée.

L'évaluation du risque microbien progresse dans les deux premiers tiers du XX<sup>ème</sup> siècle, notamment en ce qui concerne les maladies transmises par voie hydrique (Salmonella, Shigella). Ceci conduit au premier texte réglementaire définissant avec précision les exigences de qualité auxquelles devaient répondre les eaux destinées à l'alimentation. C'est le décret du 1er août 1961 (et l'arrêté du 10 août qui s'en suit).

Sur le plan du risque microbiologique, risque à court terme, la notion de « germes tests » fait son apparition avec E. Coli et les streptocoques fécaux.

La circulaire du 15 mars 1962 ajoutait des obligations quant à de nouveaux paramètres et précisait des normes de potabilité ainsi que les procédures de contrôle.

Remarquons que quelques temps avant, le 20 décembre 1958, une ordonnance faisait obligation à « quiconque offre au public de l'eau en vue de l'alimentation humaine (..) de s'assurer que cette eau est propre à la consommation ». Cette obligation est toujours présente dans l'article L1321-2 du code de la Santé Publique (ex-article L19 du Code de la Santé Publique).

L'évolution des connaissances et des pratiques mais aussi l'intégration nécessaire des dispositions des directives communautaires adoptées depuis cette date conduisaient la section des eaux du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France à engager une réflexion sur la modification de cet arrêté à partir de 1975.

Après 1975, la France fit en effet l'objet d'une procédure de contentieux comme d'autres pays de la Communauté, pour non-conformité à la directive européenne 75-444 du 16 juin 1975 (ce sera aussi le cas avec la directive de 1980).

Ceci devait aboutir à la publication du Décret 89-3 du 3 janvier 1989 qui sera d'ailleurs modifié le 10 avril 1990 (Décret 90-330) dans le sens d'une plus grande rigueur avec une augmentation du programme d'analyse lorsque la qualité de l'eau de consommation s'écarte des valeurs fixées. Il le sera une nouvelle fois le 7 mars 1991 (Décret 91-257) en transformant le programme réglementaire d'analyses en accord d'ailleurs avec l'Association des Maires de France.

Le décret 89-3 ainsi modifié repose essentiellement sur deux bases juridiques, avec d'une part les directives européennes n°75-440 du 16 juin 1975, n°79-869 du 9 octobre 1979 et n°80-778 du 15 juillet 1980 et d'autre part le Code de la Santé Publique (voir Annexe 1) :

- ⇒ La directive n°75-440 du 16 juin 1975 vise la qualité des eaux superficielles utilisées pour la production d'eau alimentaire et définit en fonction des moyens techniques de l'époque trois niveaux de qualité (auxquels sont associés trois traitements types). La directive n°79-869 du 9 octobre 1979 la complète en définissant les modalités de vérification de la qualité de ces mêmes eaux superficielles (caractéristiques, méthodes d'analyses,...).
- ⇒ La directive n°80-778 du 15 juillet 1980 est quant à elle directement relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine et les décrit à travers 62 paramètres, des valeurs guides, des concentrations maximales admissibles ou des concentrations minimales requises. Les états membres fixent leurs normes nationales de qualité en fonction de cette directive, même si, comme les articles 9 et 10 le prévoient, les états peuvent permettre des dérogations dans des conditions déterminées dont les Communautés Européennes doivent être informées. Les dispositions pour le suivi de la qualité des eaux distribuées, les analyses type, leurs fréquences et les méthodes y sont fixées.
- ⇒ Le Code de la Santé Publique intègre la loi n°87-17 du 6 janvier 1986. Celle-ci modifie ses articles L. 1 et L2 (*devenus respectivement les articles L1311-1 et L1311-2 du Code de la Santé Publique*) en remplaçant le règlement sanitaire départemental pris par arrêté préfectoral (Circulaire ministérielle du 9 août 1978) par un règlement sanitaire national établi sous la forme de décrets en Conseil d'Etat pris après avis du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France. Dans ces textes sont fixées les règles générales d'hygiène et toutes autres mesures propres à préserver la santé de l'homme, notamment en matière d'alimentation en eau potable. Les articles L1324-1 à L1324-5 traitent des dispositions pénales et l'article L. 1421-4 (ex-article L.49) des compétences de l'Etat.

Dans l'environnement juridique du décret 89-3 du 3 janvier 1989, la circulaire n° 1325 du 9 juillet 1990 aborde le problème sanitaire lié aux nitrates (que nous ne traiterons pas ici) ; La circulaire 833 du 16 mai 1989 est relative aux composés organohalogénés volatils, et celle du 15 mars 1991 plus directement relative à la surveillance permanente de la qualité des eaux (DGS/SD1.D/91/28).

Pour expliciter la démarche sanitaire à suivre et les moyens techniques disponibles, le Ministère chargé de la Santé (circulaire DGS/PGE/1.D n° 593 du 10 avril 1987) a diffusé un guide technique concernant la protection sanitaire des réseaux de distribution d'eau de consommation humaine et la sécurité contre les retours d'eau.

Celui-ci est basé sur les méthodes d'analyse des risques mises au point par M. Montout (Responsable du Service de Recherche des Infractions aux Règlements Sanitaires de la ville de Paris créé en 1930), et sur les réflexions de la commission ANTIPOLE (1984). L'urgence de la lutte contre le retour d'eau a été rétrogradé par la prise en compte des priorités de mise en application du décret 89-3. La normalisation des dispositifs « anti-retour » aboutira seulement en 1994 au niveau du Comité Européen de Normalisation.

On dispose donc aujourd'hui de la norme européenne NF EN 1717 relative à la « protection contre la pollution de l'eau potable dans les réseaux intérieurs et exigences générales des dispositifs de protection contre la pollution par retour » publié en mars 2001.

Notons par ailleurs la circulaire 1290 du 7 juillet 1989 écrite lors des périodes de sécheresse et qui insiste sur la nécessaire comparaison des risques liés aux différentes solutions pouvant être envisagées, face à un problème de qualité d'eau :

- ⇒ interruption de la distribution de l'eau,
- ⇒ poursuite de la distribution de l'eau mais interdiction de consommation,
- ⇒ poursuite de la distribution de l'eau mais restriction de certains usages (ex. : Dialyse),
- ⇒ poursuite de la distribution de l'eau sans restriction d'usage.

Cette note est importante parce qu'elle montre en quoi les différents intervenants doivent prendre en compte la totalité des règles sanitaires et les commentaires afférents pour agir d'une façon adaptée suivant la situation locale.

On remarquera que le modèle de cahier des charges pour un service de distribution publique d'eau potable pour l'exploitation par affermage (Décret du 17 mars 1980) traite dans son chapitre XII et dans ses articles 60, 61 et 63, de la qualité de l'eau distribuée par le fermier..

Un nouveau modèle de cahiers des charges de l'affermage du service public de distribution de l'eau potable a été élaboré sous l'égide de l'association des maires de France (« guide de l'affermage du service de distribution d'eau potable » publié en juin 2001 par l'A.M.F.)

L'article 27.3 de ce cahier des charges est relatif à la qualité de l'eau distribuée (il reprend sensiblement les mêmes dispositions que celles contenues dans les articles 60,61 et 63 du décret du 17 mars 1980)

L'essentiel en est incorporé dans l'Annexe 5.

Par rapport aux directives européennes le décret 89-3 modifié présentait un certain nombre de subtilités, ainsi :

- ⇒ dans l'annexe I-1 du décret, « l'eau ne doit pas contenir d'organismes pathogènes » : cette première phrase du paragraphe demeure l'exigence de base fondamentale mais toujours invérifiable analytiquement dans son intégralité (VIAL - 1995),
- ⇒ (le décret modifié remet en oeuvre dans une certaine mesure la notion de différence entre les eaux délivrées avec ou sans traitement en fixant une limite dans les dénombrements bactériens plus sévère pour l'eau traitée. La signification du paramètre « clostridium sulfito-réducteur » comme traceur de l'efficacité d'une filtration efficace est accentuée (contrairement aux directives CEE qui ne font pas la distinction entre eau traitée ou non),
- ⇒ la directive 80/778/CEE fait dépendre l'aptitude de l'eau à sa consommation que du seul respect des exigences concernant les paramètres pris en compte alors que le paramètre « absence de pathogènes » est invérifiable. Dans le décret

français « l'exigence de l'absence de signes de dégradation de l'eau » ne résout pas le problème puisque la présence d'un pathogène, non décelé ou même non décelable, peut ne s'accompagner d'aucun autre signe de dégradation comme le souligne certains auteurs.

C'est le décret 95-363 du Ministère chargé de la Santé qui, en application de la loi 92-3 du 3 janvier 1992, a introduit dans le décret 89-3 du 3 janvier 1989 des dispositions relatives à l'information au public, aux procédures d'autorisation et à l'application des décrets relatifs à la nomenclature eau de l'article 10 de la loi.

La directive 80/778/CEE du 15 juillet 1980 a été remplacée en 1998 par une nouvelle directive (directive N°98/83/CE du 3 novembre 1998).

Ce nouveau texte a pour objectif de protéger la santé des personnes des effets néfastes de la contamination des eaux destinées à la consommation humaine en garantissant la salubrité et la pureté de celles-ci. Elle est entrée en vigueur le 25 décembre 1998.

Les grandes innovations de cette directive sont :

- ⇒ le passage de 63 à 48 des paramètres de qualité de l'eau (dont 13 nouveaux) ;
- ⇒ le contrôle de la qualité de l'eau au robinet du consommateur ;
- ⇒ l'abaissement progressif de la norme relative au plomb de 50µg/l à 10µg/l.

Cette nouvelle directive accorde une grande importance au fait que l'eau ne se dégrade pas durant le transport, le stockage et la distribution. C'est pourquoi elle prévoit que la vérification de la qualité de l'eau se fasse au niveau du robinet du consommateur.

La directive du 15 juillet 1980 offrait la possibilité d'obtenir des dérogations pour certains paramètres de qualité de l'eau en cas de circonstances exceptionnelles (mais les dérogations étaient interdites s'agissant des paramètres microbiologiques et les toxiques). La nouvelle directive permet des dérogations pour tous les paramètres à la seule condition d'en informer la Commission Européenne.

S'agissant de la teneur en plomb dans l'eau distribuée la directive accorde aux Etats membres une période transitoire de 15 ans pour atteindre les concentrations maximales qu'elle fixe (passage de 50 à 10 µg/l avec un palier intermédiaire de 25 µg/l), cette période devrait permettre aux Etats membres de réaliser de façon progressive les investissements nécessaires de remplacement des canalisations en plomb.

Les Etats membres devaient transposer cette directive avant le 25 décembre 2000 et prendre les mesures nécessaires pour garantir le respect des nouvelles normes à compter du 25 décembre 2003.

La France l'a fait en 2001 avec le décret 2001-1220 du 20 décembre 2001 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine (J.O. du 22 décembre 2001).

Ce texte qui abroge le décret n°89-3 du 3 janvier 1989 pose de nouvelles exigences de qualité auxquelles doivent répondre les eaux destinées à la consommation humaine en renforçant le caractère contraignant des paramètres microbiologiques et chimiques.

Il comprend six sections regroupant 56 articles et trois annexes ; citons plus particulièrement les trois premières sections qui nous intéressent :

- ⇒ La section 1 : contient notamment dispositions générales, des règles relatives au contrôle sanitaire et la surveillance de la qualité de l'eau ; aux mesures correctives, restrictions d'utilisation, interruption de distribution de l'eau ;

- ⇒ La section 2 : est relative à la qualité des eaux douces superficielles utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine.
- ⇒ La section 3 : aborde les règles d'hygiène applicables aux installations de production et de distribution d'eaux destinées à la consommation humaine (on relèvera notamment les règles particulières relatives au plomb dans les installations de distribution fixées par les articles 35 à 37).

Sur un certain nombre de points, le décret 2001-1200 contient des dispositions plus sévères que celles qui sont imposées par la directive du 3 novembre 1998.

Ainsi le décret introduit des paramètres de qualité supplémentaires par rapport à la directive de 1998 (baryum, chlorites, microcystine L-R), fixe une limite impérative pour la turbidité (alors que la directive considère la turbidité uniquement comme un indicateur de fonctionnement des installations), augmente la fréquence d'échantillonnages et d'analyses (annexe II « contrôle et programmes d'analyse des échantillons d'eau »).

L'entrée en vigueur de nouveau texte est progressive puisqu'il contient des articles qui sont d'application immédiate et d'autres dont l'application est différée dans le temps.

Dans l'attente de l'entrée en vigueur des articles dont l'application est retardée ce sont les règles posées par le décret 89-3 du 3 janvier 1989 qui restent applicables (c'est le cas des limites de qualité définies à l'annexe I-1 et des références de qualité fixées à l'annexe I-2 de ce décret). (voir l'annexe relative au tableau d'entrée en vigueur progressive du décret 2001-1220).

Les modalités d'application de ce décret ne sont pas encore complètement définies puisque un grand nombre des arrêtés complémentaires prévus par le texte ne sont pas encore parus (une vingtaine d'articles du décret nécessitent des arrêtés d'application).

Dans l'attente de la parution de ces textes l'article 54 alinéa 2 du décret du 20 décembre 2001 précise que jusqu'au 24 décembre 2003 les dispositions en vigueur qui ont été prises sur le fondement du décret du 3 janvier 1989 susvisé sont réputées prises sur le fondement du présent décret.

## 2 - Facteurs à l'origine de la dégradation de la qualité de l'eau dans les réseaux

### 2.1 Introduction

Le réseau de distribution de l'eau potable est souvent décrit comme un véritable réacteur (Figure 1), où l'eau et son contenant (conduite, ...) sont le siège d'interactions physico-chimiques et biologiques. L'eau du robinet peut avoir une qualité très éloignée de celle issue de l'usine de production. Les conditions qui contrôlent l'évolution de la qualité de l'eau dans le réseau sont complexes et ont fait l'objet ces dernières années d'une recherche approfondie.

Une bonne connaissance des facteurs qui peuvent influencer la qualité de l'eau dans les réseaux est indispensable pour les services d'exploitation (en usine de production ou sur le réseau) afin d'anticiper et d'éviter des problèmes potentiels.

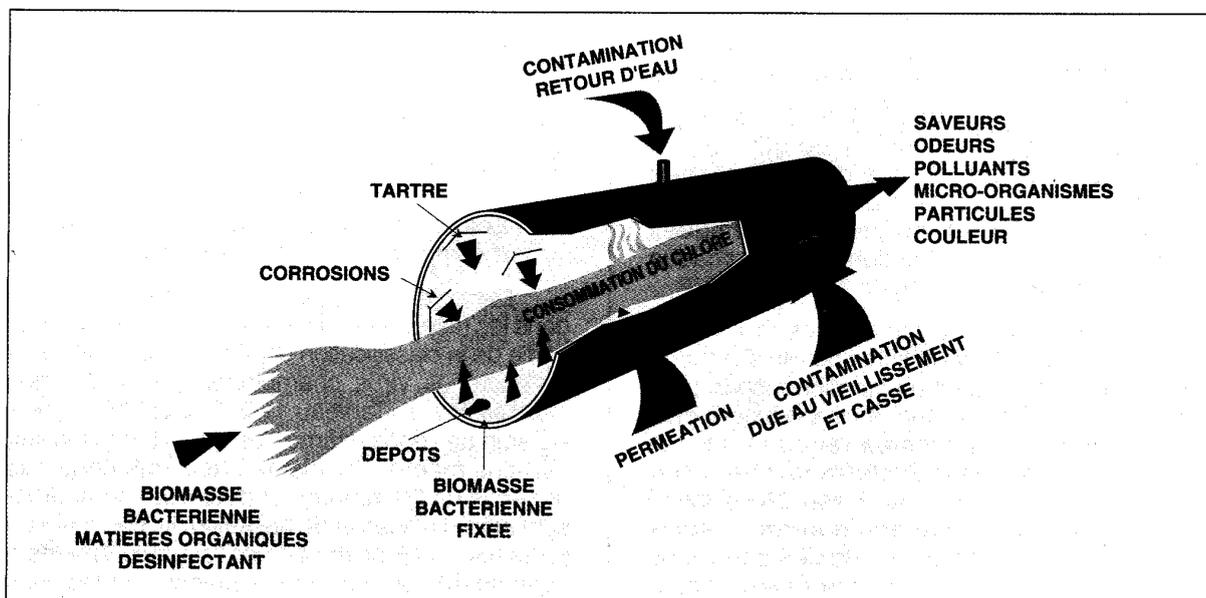


Figure 1 : le réseau réacteur (d'après LEVI – 1995)

### 2.2 Les phénomènes biologiques

#### 2.2.1 D'où viennent les microorganismes ?

L'eau traitée produite dans les stations de traitement d'eau potable par le réseau jusqu'aux usagers n'est jamais stérile. C'est d'ailleurs pourquoi on parle de désinfection et non de stérilisation.

L'usine de production d'eau potable doit éliminer la plus grande partie des germes présents dans l'eau brute et notamment tous ceux qui sont pathogènes. Lors de l'étape de la désinfection, le traitement d'eau s'appuie sur l'élimination des germes tests, indicateurs de pollution fécale, et témoins de la présence possible de germes pathogènes.

Si le contrôle d'autres types de germes, tels que les germes totaux (flore hétérotrophe aérobie revivifiable) est assuré en sortie d'usine, il n'en est pas moins vrai qu'un certain nombre de microorganismes est introduit dans le réseau (pour les germes totaux, le niveau guide est par exemple de 10 germes / ml pour un dénombrement à 37° C), parce que les procédés physico-chimiques classiques de traitement ne permettent pas d'assurer en effet, avec fiabilité une élimination totale des microorganismes.

Par ailleurs, diverses situations d'exploitation en usine peuvent conduire à des relargages. Par exemple un mauvais rinçage des filtres au sein de l'usine peut permettre le relargage de germes ou de spores en sortie de station ainsi que la distribution des premières eaux produites par la filtration après lavage.

La flore bactérienne identifiée par les techniques classiques de comptage sur gélose n'est pas forcément représentative des bactéries effectivement présentes dans l'eau produite. Il est ainsi possible que des bactéries blessées ou stressées au sortir des traitements de filtration et de désinfection soient rendues temporairement inaptes à la croissance sur des milieux de culture standard suivant les conditions types fixées.

Sur des milieux de culture plus pauvres (dits milieux de « ressuscitation ») avec de faibles températures et de longues durées d'incubation, ces bactéries peuvent alors être identifiables.

A l'intérieur du réseau, ces bactéries blessées ou stressées, peuvent se réanimer ou se réparer, fonction de paramètres tels que la température, les nutriments présents et bien sûr le temps.

Aux Etats-Unis la détection de telles bactéries sur des milieux plus pauvres, permet des diagnostics intéressants lorsque des problèmes bactériologiques sont rencontrés sur le réseau (EPA - 1992, LECHEVALLIER - 1990).

Dans le réseau, certains points offrent des voies d'entrée à la contamination par des microorganismes. C'est le cas des réservoirs où l'eau est en contact avec l'air, et où les orifices mal protégés peuvent permettre le passage de poussières ou d'insectes apportant des contaminations.

Les interventions sur le réseau (réparations, branchements), les fuites (en cas de dépression) et les accidents tels que des retours d'eau ou des cassures peuvent également être responsables de l'introduction de microorganismes dans le réseau.

### **2.2.2 Formation du biofilm et caractéristiques**

Les microorganismes ne peuvent se développer et survivre dans un milieu qui leur est « inhabituel », comme c'est le cas d'un réseau d'eau potable, que si celui-ci présente des caractéristiques nutritives et physico-chimiques proches d'un optimum caractéristique de chaque famille de microorganismes présentes.

La biomasse libre dans le réseau se fixe sur les parois des canalisations, qu'elle soit morte ou vivante et constituera un premier support pour le développement de couches supérieures plus actives. Si ces organismes rencontrent des conditions ambiantes satisfaisantes, le développement du biofilm peut avoir lieu. Etant donné la grande capacité d'adaptation de certains microorganismes, les limites de ces conditions ne sont pas faciles à déterminer et par conséquent aucune norme stricte ne peut être énoncée pour pouvoir limiter totalement leur prolifération.

Le biofilm qui se met en place sera constitué d'espèces résistantes dans cet environnement particulier et de façon non uniforme sur les parois. Un véritable écosystème complexe

s'organise alors à la surface des parois, où des phénomènes de synergie et d'antagonismes inter-espèces sont probables (LEVI - 1994).

Le biofilm devient alors un système dynamique où s'installe une chaîne alimentaire complexe. Cet habitat est le lieu privilégié de métabolisme, reviviscence (à partir d'un spore, par exemple), croissance et mort (avec un recyclage des nutriments).

A l'interface solide-liquide, le biofilm (Figure 2) représente une protection, à la fois hydraulique et chimique puisqu'il limite la diffusion des désinfectants tels que le chlore. Il protège ainsi certains types de microorganismes du désinfectant résiduel ou même d'un nettoyage incomplet, notamment grâce aux effets d'agrégation, encapsulation et attachement.

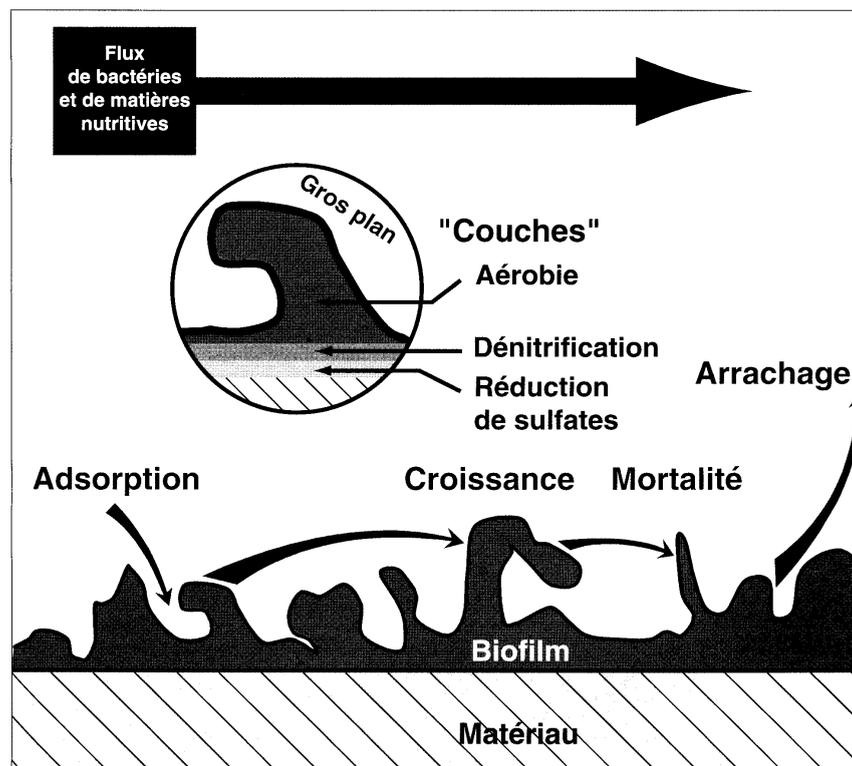


Figure 2 : le biofilm

Dans des zones de dépôts ou de décantation de particules, des niches écologiques peuvent se développer plus particulièrement et des conditions d'anaérobiose se mettent en place. Des proliférations de bactéries générant de la corrosion et même parfois la prolifération de coliformes y deviennent alors possible.

Malgré son nom, le biofilm n'est ni exclusivement « bio » (biologique), ni véritablement un film. On y retrouve des dépôts inorganiques (sédiments accumulés, produits de corrosion) et sa nature est plutôt hétérogène. Par exemple, des fines de charbon provenant du traitement par charbon actif ou une turbidité résiduelle peuvent entrer dans le réseau.

Notons cependant que les algues ne peuvent proliférer en absence de lumière, et que la majorité des champignons et levures exigent des concentrations importantes en éléments

organiques. Les virus susceptibles d'être pathogènes pour l'homme ne peuvent, pour leur part se reproduire en réseau (LEVI - 1995).

### 2.2.3 Les principaux organismes susceptibles d'être présents dans les réseaux

Les organismes susceptibles d'être présents dans les réseaux de distribution couvrent une large partie de la classification des êtres vivants, incluant les bactéries, virus, champignons, et organismes pluricellulaires (Tableau 1) (SCHULHOF - 1990). Au sein de l'écosystème que constitue le biofilm, certains macro-organismes (tels que certaines espèces de Gammare et d'Asellus) se nourrissent ainsi d'algues et de bactéries. Ils peuvent être présents et coloniser certains réseaux. Visibles à l'œil nu du consommateur puisqu'ils mesurent quelques centimètres, ils constituent une gêne notoire.

Les populations d'organismes vivantes dans les biofilms ont été identifiées et il faut savoir que la majorité des microorganismes dénombrés et identifiés dans l'eau elle-même provient de ces biofilms.

Les tableaux 1 et 2 donnent quelques microorganismes pouvant être rencontrés dans les eaux potables.

On peut notamment considérer :

- ⇒ Les virus, identifiés à partir d'échantillons de l'ordre de 1 000 litres provenant le plus souvent des matières en suspension auxquels ils sont adsorbés et sont rarement libres. On les retrouve si l'oxydation par le chlore et ses dérivés, ou par l'ozone ne sont pas appliquées dans de bonnes conditions.
- ⇒ Les bactéries forment un ensemble abondant et hétérogène. Les bactéries recherchées le plus souvent sont en général aérobies.

Les bactéries anaérobies qui se développent en absence d'oxygène sont aussi recherchées du fait de leur caractère pathogène (c'est le cas de *Clostridium perfringens*), de leur capacité à sporuler d'où leur résistance aux désinfectants (cas de *Bacillus*), ou des réactions métaboliques défavorables à la qualité de l'eau (bactéries réductrices de nitrates en nitrite et des sulfates en sulfures comme *Desulfovibrio* et *Desulfuricans*).

Ces dernières bactéries forment des associations complexes avec des bactéries aérobies et peuvent conduire ainsi à des pustulations et à des perforations des parois de conduites.

Citons enfin les bactéries pathogènes opportunistes telles que *Pseudomonas Aeruginosa* (bacille pyocyanique), *Aeromonas hydrophila* (indicateur de la présence de matières organiques assimilables) ou *Klebsiella pneumoniae* qui sont parfois mis en évidence dans les réseaux mal entretenus. Pour cette dernière bactérie identifiée dans un biofilm, signalons que des accroissements de résistance au chlore d'un facteur 150 ont été constatés (HARTEMANN-1996).

**Les Levures** telles que *Rhodotorula rubra* ou glutinis, quelquefois associée aux *Pseudomonas*, et susceptible d'être se maintenir dans des conditions de désinfectant éliminant les *Pseudomonas*.

**Les Champignons inférieurs**

Caractérisés par des spores abondants et des membranes de cellules épaisses, ils sont suspectés d'être à l'origine de problèmes de goût, réactions allergiques, voire toxiques (par voie d'inhalation uniquement). Notons la possibilité de formation de trichloranisole par certains champignons.

**Les Algues**

Caractérisées par une forte variation saisonnière dans certaines eaux superficielles, elles parviennent à franchir parfois les filières de traitement notamment lorsque la charge dans la ressource est très élevée, elles apportent des teneurs élevées en matières organiques et génèrent une sapidité de l'eau.

**Les Autres Eucaryotes**

Citons les rotifères, les protozoaires ciliés, flagellés qui sont difficiles à éradiquer par les produits bactéricides classiques et dont certains sont pathogènes avec par exemple des amibes, *Cryptosporidium* (quelques occurrences récentes aux Etats Unis et en Grande Bretagne), *Giardia* (kystes résistants à désinfection par le chlore et l'ozonation).

**Les Vers**

Les Nématodes peuvent mesurer plusieurs millimètres et ont une remarquable capacité de survie; Les Oligochètes se multiplient par scissiparité, surtout dans les matériaux filtrants et ont aussi une résistance aux désinfectants.

**Les Crustacés**

Ils sont considérés comme non dangereux mais sont suspectés de fournir une protection pour les bactéries dans leur tube digestif. Ils peuvent atteindre une longueur de plusieurs centimètres. Citons *Asellus aquaticus* et *Gammarus pulex*.

Une étude d'organisme planctoniques à la sortie des stations de la Société des Eaux de Marseille également recensé les crustacés suivants *Daphnia*, *Bosmina*, *Copépoda harpacticoida*, *cyclopoida* *Ostracoda*.

**Les Mollusques et les Insectes**

Peuvent être aussi présents sous forme de larves ou d'œufs (cas des chironomes pour les insectes) si elles franchissent les matériaux filtrants dans les filières de traitement. Bien qu'elles ne trouvent pas un milieu favorable à leur développement dans le réseau, il est nécessaire de les réduire au maximum pour limiter l'apport de matière organique au réseau.

Tableau 1 : Organismes susceptibles d'être présents dans les réseaux

Pathogènes potentiels et bactéries indicatrices	Bactéries autochtones	Bactéries de la corrosion	Moisissures et levures
Salmonella Shigella	Acinetobacter Aeromonas Alcaligenes Bacillus	Bactéries Sulfatoréductrices	Penicillium Rhizopus Mycelium Trichomonas
Enterovirus	Enterobacter Flavobacterium Pseudomonas	Bactéries du fer	Mucor Aspergillus
E. coli, Streptococcus	Staphylococcus Corynebacterium		
Legionella	Proteus Yersinia		

Tableau 2 : Quelques microorganismes susceptibles d'être présents dans les eaux potables (PAQUIN ET BLOCK – 1992)

**2.2.4 Facteurs jouant un rôle dans la reviviscence**

La reviviscence bactérienne est essentiellement un problème pour les réseaux alimentés par les eaux de surface, les eaux souterraines contenant pour leur part peu de microorganismes

et de matières organiques sauf lorsqu'il s'agit d'eaux karstiques, du fait de la vulnérabilité des nappes de karst.

Pour que les microorganismes puissent survivre et/ou se multiplier dans un milieu, celui-ci qui peut être le réseau, doit présenter des caractéristiques nutritives et physico-chimiques satisfaisantes pour chaque type d'espèces présentes. Les facteurs déterminants sont nombreux et interagissent souvent entre eux (LEVI - 1995), il s'agit :

#### **De facteurs déterminés par le traitement amont au réseau :**

- ⇒ La quantité de cellules microbiennes mortes ou vivantes introduites dans le réseau, biomasse qui constitue un véritable réservoir d'éléments nutritifs.
- ⇒ Les particules qui pénètrent dans le réseau et qui en décantant génèrent des « niches écologiques » protégées contre les désinfectants. Des phénomènes de post-floculation sont aussi possibles à l'intérieur du réseau.
- ⇒ Le contenu organique c'est-à-dire le contenu en éléments organiques carbonés, le contenu azoté et phosphore étant non limitant pour la majorité des bactéries.
- ⇒ Le contenu minéral avec la présence de fer et de manganèse qui favorisent le développement de certaines bactéries.
- ⇒ Les paramètres physicochimiques :
  - └ pH qui contrôle l'action du désinfectant, température qui influence l'activité bactérienne,
  - └ Oxygène dissous qui détermine le type de communautés bactériennes qui peuvent proliférer ou non,
  - └ Turbidité qui recouvre le contenu organique et minéral colloïdal par une mesure globale.
- ⇒ La concentration en désinfectant résiduel, avec pour chaque désinfectant des spécificités de comportement vis-à-vis des bactéries et autres microorganismes.
- ⇒ La demande en chlore de l'eau (qui doit être faible voire nulle si le contenu organique tend vers zéro).

#### **De facteurs déterminés par le réseau et sa gestion**

- ⇒ Les matériaux en contact avec l'eau potable avec des effets potentiels de relargage ou de perméation (ce qui signifie la propriété de laisser passer à travers l'épaisseur des matériaux, du fait d'une certaine porosité, des molécules de faible taille par exemples présentes dans la phase liquide ou gazeuse extérieure au tuyau), ou qui peuvent protéger des bactéries au sein d'anfractuosités de surface, ou même réagir avec le désinfectant résiduel.
- ⇒ Le fonctionnement du réseau qui a une influence directe sur le temps de séjour de l'eau (et donc de stagnation), sur les phénomènes de décrochage ou de remise en suspension de dépôts.

Notons que la prolifération bactérienne en réseau est aussi dépendante du rapport flore libre / flore fixée. Dans un diamètre 100 mm, le rapport tend vers 0,7 % et dans un diamètre 200, il est de 5 %. Le potentiel de prolifération dans le réseau est donc fonction du rapport volume du réseau sur surface offerte en supports aux bactéries (CORDONNIER - 1995).

#### **2.2.5 Mesures de la reviviscence bactérienne**

Une flore bactérienne est toujours véhiculée par les eaux de distribution variant selon les sites et l'origine de l'eau de  $10^2$  à  $10^5$  cellules bactériennes (vivantes et mortes) par millilitre (cette flore est généralement dénombrée au microscope) et de 0 à  $10^3$  ufc (unités formant colonies par millilitre, mesurées alors sur gélose).

En comparaison, la quantité de bactéries fixées par unité de surface est généralement de l'ordre de  $10^7$  cellules/cm<sup>2</sup>, selon les valeurs généralement rapportées dans la littérature (PAQUIN-1992).

### **2.2.6 Conséquences d'un accroissement du biofilm et contrôle de son évolution**

Le développement d'un biofilm sur la paroi des canalisations est un phénomène inévitable, mais si le biofilm se développe trop, la qualité de l'eau ainsi que la "santé" du réseau peuvent être affectées d'où les inconvénients suivants :

- ⇒ Instabilité des oxydants désinfectants ; le biofilm est consommateur d'oxydant et il accroît la demande en chlore si tel est l'oxydant utilisé. C'est pour cette raison qu'il faut 3 à 4 jours pour stabiliser la concentration en chlore libre dans un réseau qui n'a jamais été chloré (NANCIE-1991).
- ⇒ Formation de sous produits organochlorés, sapides et/ou toxiques.
- ⇒ « Hébergement » de bactéries pathogènes blessées mais avec reprise de l'activité métabolique.
- ⇒ Développement possible de bactéries dénitrifiantes (en cas d'anoxies) avec dépassement des normes pour les nitrites.
- ⇒ Mise en place d'écosystèmes avec organismes «brouteurs » qui sont souvent macroscopiques et visibles à l'œil nu
- ⇒ Problèmes de goût, d'odeur et de coloration ; relargage de débris biologiques.
- ⇒ Contamination plus générale du réseau du fait des mises en suspension, et ceci jusqu'au robinet de l'utilisateur.

Notons cependant que les exportations de floc de biomasse et la consommation par les micro-invertébrés prédateurs sont des éléments de régulation de l'extension du biofilm.

Pour limiter l'évolution du biofilm, les moyens de prévention sont :

- ⇒ Le contrôle des nutriments bactériens (carbone organique utilisable) à l'entrée du réseau.
- ⇒ A un degré moindre, la qualité des matériaux utilisés et/ou des revêtements pour limiter l'ancrage du biofilm.
- ⇒ Les oxydants résiduels n'ont qu'une action limitée sur le biofilm, et agissent surtout sur la flore libre circulante (bactéries « planctoniques »).

Les moyens curatifs sont physiques (racleurs, mélange air-eau, ...) et chimiques (détergents et désinfectants à concentration élevée).

## **2.3 Facteurs physicochimiques influençant la dégradation de la qualité de l'eau**

### **2.3-1 pH et minéralisation**

Dans le réseau, le pH et la minéralisation sont importants pour le contrôle de la corrosion, l'agressivité de l'eau, l'action du désinfectant et la précipitation des éléments dissous. Mais le pH peut varier le long de la distribution du fait d'une évolution de la concentration de CO<sub>2</sub> dissous, ou bien parce que l'eau traitée n'était pas forcément à l'équilibre calcocarbonique en sortie de station.

Une aération dans un réservoir peut rendre une eau dure et incrustante par une perte de CO<sub>2</sub>, ce qui risque alors d'obstruer les conduites par dépôt de tartre. La solution est l'addition de CO<sub>2</sub> et/ou l'extraction de CaCO<sub>3</sub>, qui servent à restaurer l'équilibre.

Inversement, une eau chargée CO<sub>2</sub> agressif (avec un pH bas) a tendance à attaquer les matériaux qu'elle rencontre avec des conséquences importantes: dissolution de ciments, attaque des métaux ferreux (corrosion) ou attaque de métaux toxiques tels que le plomb. Des solutions envisageables sont l'élimination de CO<sub>2</sub> agressif, l'addition de chaux pour la mise à l'équilibre calcocarbonique ou un traitement de reminéralisation.

Avec une composition judicieuse, l'eau permet de développer à la surface des matériaux une couche protectrice composée en partie de carbonate de calcium. Il convient de distribuer une eau légèrement sursaturée en carbonate de calcium pour favoriser la formation de ce dépôt protecteur.

### **2.3-2 Température**

La température des eaux peut varier de plusieurs degrés pendant le transit en réseau. A titre d'exemple, on observe un écart maximal de 4°C entre les points extrêmes du réseau en région parisienne. Les variations de température saisonnières peuvent affecter les eaux, surtout quand elles sont d'origine superficielle.

Une température élevée peut favoriser des goûts ou odeurs désagréables. De plus, elle accélère la plupart des réactions physico-chimiques et biologiques dans le réseau, influence la croissance bactérienne, dissipe l'effet du désinfectant résiduel en agissant sur les constantes d'équilibre et accélère la corrosion. On a observé sur certains réseaux en climat tempéré que le nombre de conformes dans des réseaux de distribution variait de façon saisonnière, les plus hauts niveaux se produisant durant les mois d'été. L'activité bactérienne s'accroît nettement lorsque la température dépasse 15°C.

La température joue aussi un rôle notable lorsque l'on fait des mélanges entre des eaux de composition différentes ; la couche protectrice formée par l'eau légèrement entartrante sur les parois peut ainsi changer de structure et diminuer en épaisseur ce qui n'est pas favorable. La température est aussi un des facteurs le plus important pour la dissolution des éléments tels que le plomb. Sa solubilité, par exemple, augmente de l'ordre de deux fois entre 12° C et 25° C.

Les services des eaux peuvent difficilement agir sur la température de l'eau. Les efforts doivent donc se porter sur d'autres paramètres qui évoluent en fonction de la température. L'ajustement du désinfectant résiduel se fera par exemple en conséquence.

### **2.3-3 Oxygène dissous**

De l'état de saturation à l'entrée du réseau, l'oxygène dissous peut considérablement diminuer en cours de distribution avec des réactions d'oxydation ou une prolifération bactérienne. Toute baisse de la teneur en oxygène dissous détectée sur le réseau peut alors être interprétée comme un signe de croissance biologique.

Dans le cas où le réseau est correctement entretenu, une anaérobiose répandue ne se produit qu'avec des temps de séjour très longs. En revanche, le développement de zones anoxiques est possible localement. Il en résulte des phénomènes de fermentation et bioréduction (transformation de nitrate en nitrite), à l'origine de saveurs désagréables ou de corrosion. De tels problèmes nécessitent une révision des pratiques d'entretien dans le réseau. La sursaturation en oxygène reste rare.

### **2.3-4 Turbidité**

Si la turbidité de l'eau est supérieure à 0.4 NTU, l'action des bactéricides est ralentie, voire annulée. Les colloïdes responsables de la turbidité peuvent protéger les bactéries des oxydants. Ainsi, un traitement de chlore libre à 0.4 ppm pendant une heure, qui donne normalement une garantie bactériologique à l'eau, n'est actif que si la turbidité est inférieure à 0.4 NTU.

Dans le réseau, une turbidité élevée de l'eau révèle les problèmes suivants :

- ⇒ précipitation de fer, aluminium ou manganèse, due à une oxydation dans le réseau,
- ⇒ précipitation lente de  $\text{CaCO}_3$  (ou parfois hydroxydes de magnésium), due à un mauvais ajustement du pH à l'usine de traitement,
- ⇒ une corrosion importante,
- ⇒ l'agglomération naturelle des colloïdes qui peuvent provenir d'arrachements de biofilm, ou de bactéries agglomérées par leur glycocalyx (polysaccharides présents sur les parois extérieures des bactéries),
- ⇒ une fuite de matières dans la filière de filtration de l'usine de traitement (on dit que les filtres sont « percés »),
- ⇒ des précipités formés par l'effet de post-floculation dans le réseau (effort persistant du floculant et polymérisation non achevée) dégradent la qualité organoleptique de l'eau et conditionnent la prolifération de microorganismes.

Le paramètre Turbidité est suivi tout particulièrement par les producteurs d'eau car il est aujourd'hui facile à mesurer en continu et permet d'évaluer rapidement la qualité de l'eau produite. En d'autres termes, c'est un excellent indicateur de traitement global.

La mesure de turbidité est ainsi un moyen qui permet de s'assurer de l'élimination de certains microorganismes qui résistent au traitement chimique, comme les spores ou les kystes. Seuls les traitements physiques de rétention les retiennent. Comme la turbidité « protège » ces microorganismes, tout comme d'ailleurs les germes qui ne sont pas libres dans l'eau, il y a une bonne corrélation entre l'abattement des microorganismes et la turbidité. Les relations établies dans certaines usines de production d'eau potable pour relier les abattements d'algues, de kystes et autres clostridiiums après traitements et la diminution de la turbidité le prouvent (MONTIEL - 1996).

### **2.3-5 Ammonium**

Il est important d'éliminer l'ammonium avant l'introduction de l'eau dans le réseau parce que l'ammonium réagit avec le chlore pour produire des chloramines, qui sont des désinfectants

moins efficaces et peuvent provoquer des goûts désagréables. Certaines bactéries prolifèrent aussi en transformant l'ammonium en nitrites puis en nitrates.

### 2.3-6 Matières organiques

Source nutritive essentielle pour la prolifération bactérienne, le contenu en éléments organiques carbonés est aujourd'hui considéré comme un facteur primordial dans la maîtrise de la qualité microbiologique de l'eau dans le réseau, une consommation de la matière organique s'accompagne d'un accroissement de la densité bactérienne présente au niveau du biofilm, tout comme dans l'eau circulant (Figure 3). Plusieurs mesures du potentiel nutritif carboné ont été effectuées, afin de déterminer des valeurs guides indicatives pour assurer une croissance bactérienne limitée dans le réseau (Tableau 3).

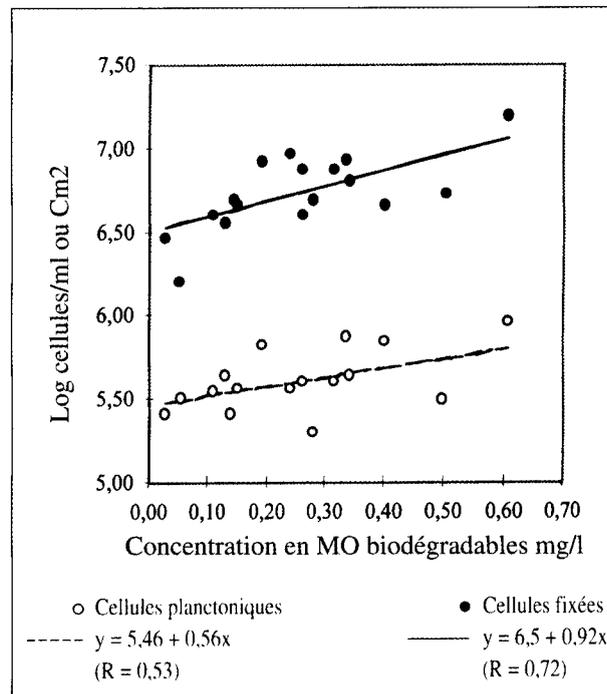


Figure 3 : Relation entre le Log de la densité bactérienne (Epifluorescence) et la concentration en matière organique biodégradée ( MATHIEU, PAQUIN, BLOCK, RANDON, MAILLARD, REASONER – 1992)

Références	Paramètres	Valeur guide estimée
Van der Kooij et al. 1989	Carbone organique assimilable	COA < 10 µg/l
Werner et Hamsch 1986	Potentiel de croissance	µmax. < 0.15 heure <sup>-1</sup>
Levi et Joret 1990	Carbone organique dissous biodégradable par un biofilm bactérien	CODB < 0.2 mg/l
Servais et al 1992	Carbone organique dissous biodégradable par des bactéries en suspension	CODB < 0.16 mg/l

Tableau 3 : Valeurs guides indicatives pour minimiser le potentiel nutritif (d'après LEVI Y. 1995)

**Remarques :**

- | Dans le réseau du Syndicat des Eaux d'Ile de France, en exploitation courante, le CODB est de l'ordre de 0,5 mg/l et le COT évolue de 0,5 à 5 mg/l. La ville de Nice bénéficie de ressources en eau exempte de matière organique biodégradable. Depuis le début du siècle, le procédé de désinfection employé par la Compagnie Générale des Eaux est l'ozonation. L'eau est distribuée sans chlore. Un diagnostic complet du réseau sur un an a révélé des teneurs très faibles de COD (0.3 mg C/l en moyenne) et CODB (inférieur à 0.1 mg C/l) sur l'ensemble du réseau. Les numérations bactériennes sont peu élevées, avec une faible reviviscence de *Aeromonas hydrophilia* sur quelques points d'observations indiquant un biofilm minimal. (AGHTM - 1991).
- | COT - carbone organique total (soluble et insoluble).
- | COD - carbone organique dissous (fraction soluble de COT). La fraction de COD qui est facilement digérée par les microorganismes est couramment mesurée par la procédure COA (carbone organique assimilable) ou, surtout en France et aux Etats-Unis, le test CODB (carbone organique dissous biodégradable). Ces paramètres sont mesurés au COT mètre.

Si plusieurs études ont montré que la matière organique contribue au maintien dans le réseau d'une population bactérienne vivante et stable, même en présence de chlore, il reste très délicat de faire une prévision des numérations de bactéries sur cette seule indication. Le désinfectant résiduel, l'état du réseau et d'autres conditions environnementales décrites ci-avant sont aussi des facteurs tout aussi déterminants.

### 2.3-7 Désinfectant résiduel

Si une baisse du désinfectant résiduel peut entraîner une croissance bactérienne dans le réseau, l'expérience montre que le maintien du désinfectant résiduel n'assure pas totalement la prévention d'une telle reviviscence (EPA -1992).

### 2.3-8 Les facteurs organoleptiques : indicateurs de qualité

Le consommateur est très sensible à toute dégradation organoleptique de l'eau dans le réseau. Malheureusement, le goût et l'odeur sont les caractéristiques les plus difficiles à maîtriser en raison des multiples causes et interactions, telles que :

- ⇒ **La nature de la ressource** : les composés présents dans la ressource prélevée et la variation temporelle de qualité (surtout dans les eaux superficielles).
- ⇒ **Le traitement** : le type et dosage de désinfectant et le passage du désinfectant résiduel dans le réseau.
- ⇒ **Le réseau** : les matériaux rencontrés dans le réseau et les conditions chimiques présentes (corrosion, perméation à travers le revêtement, relargage, etc.).
- ⇒ **La microbiologie** : la bioproduction et la bioconversion des composés par des microorganismes.

De plus, le problème organoleptique est assez subjectif : par exemple, le chlore peut être considéré comme indésirable « chez soi » ou une assurance de la qualité de l'eau « à l'étranger ».

Quelques problèmes causés par certains microorganismes ou d'origine physicochimique sont présentés dans les Tableaux 4 et 5.

Micro-Organisme	Remarque
Streptomyces Nocardia	Plaintes de goût et d'odeur aux concentrations supérieures à 10/100 ml
Désulfovibrio Désulfuricans	Réduction biologique de sulfate en sulfure : goûts et odeurs de sulfures
Actinomycètes Streptomycètes	Goûts de moisi, de vase ou de terre, attribués aux composés géosmine ou méthyl-2-isobornéol

Tableau 4 : Exemples de microorganismes produisant des problèmes organoleptiques (LE CHEVALIER et al. – 1987)

Type	Cause	Reconnaissance
Fer	Corrosion Traitement de coagulation (sels de fer utilisés)	3 mg/l seuil de reconnaissance moyen 40 µg/l pour les personnes sensibles
Cuivre	Corrosion	7 mg/l seuil de reconnaissance moyen 3 mg/l pour les personnes sensibles
Zinc	Corrosion	20 mg/l seuil de reconnaissance moyen 5 mg/l pour les personnes sensibles
Revêtement	Plusieurs types	Goûts « pharmaceutique/médicamenteux » ou « solvant/chimique »
Chlore	Chlore résiduel Réactions de chlore avec les matières organiques	Odeurs de chlore pour les consommateurs en tête du réseau Goûts « pharmaceutique/médicamenteux »

Tableau 5 : Problèmes organoleptique et d'origines physico-chimiques

La couleur de l'eau peut être directement liée à la présence d'acides humiques dans l'eau. Ceux-ci réagissent, par ailleurs, avec le chlore pour donner des composés organohalogénés indésirables. L'élimination de couleur devra alors être effectuée à l'usine de traitement avant l'entrée de l'eau dans le réseau.

Les plaintes du consommateur seront considérées comme un signal d'alarme de la dégradation de l'eau. Ces « dégustateurs sentinelles » peuvent permettre de détecter des anomalies inhérentes au système de distribution qui auraient pu échapper à la vigilance du distributeur ne serait-ce que des problèmes de réseaux intérieurs.

### **2.3-9 Influence des phénomènes de corrosions sur la qualité de l'eau**

Les corrosions sont souvent responsables de la présence de fer, plomb, cuivre, cadmium ou zinc dans les eaux. Elles fournissent un abri contre l'arrachage hydraulique pour les microorganismes, ralentissent l'écoulement et peuvent le modifier localement.

La corrosion est causée par des phénomènes électrochimiques localisés très variés (différents mécanismes de corrosion) ; par exemple à pH faible ou lorsque le taux d'oxygène est élevé, elle est souvent aggravée par des bactéries qui accélèrent les réactions.

La prévention de la corrosion doit se faire par des précautions au niveau du traitement de l'eau et un entretien adéquat du réseau.

## **2.4 - Facteurs de dégradation liés à la conception ou à la gestion du réseau**

### **2.4-1 L'hydraulique du réseau**

La conservation de la qualité de l'eau est facilitée par une réduction du temps de séjour dans le réseau. Dans les réseaux urbains, il y a souvent un maillage élevé, ce qui assure la sécurité quantitative, impératifs de la sécurité incendie, permet de parer aux heures de pointes et facilite les arrêts d'eau s'il y a lieu. Il accroît cependant le temps de séjour de l'eau dans le réseau. Dans les réservoirs, le temps de séjour de l'eau peut augmenter en fonction de contraintes d'exploitation, ou même résulter d'erreurs de conception pour la conception de points singuliers sur le réseau.

Le temps de séjour n'est pas une seule valeur pour le réseau, mais est représenté par une distribution statistique. Le temps de séjour moyen dans le réseau peut être de l'ordre de quelques jours mais certains volumes d'eau peuvent stagner plus d'une dizaine de jours dans des zones du réseau où l'écoulement est faible ou bien la demande en eau quasiment nulle (en périodes de vacances par exemple).

Des études ont montré que les problèmes de stagnation favorisant corrosion et dépôts apparaissent dès que la vitesse de l'eau est inférieure à  $0.01 \text{ m} \cdot \text{S}^{-1}$  et disparaissent au-delà de  $0.1 \text{ m} \cdot \text{S}^{-1}$  (TRICARD-1995).

Lors de la conception de réseaux, la diamètre des canalisations est ainsi calculé à partir des débits de pointes horaires. Il est conseillé des valeurs guides d'écoulement entre  $0,5$  et  $1,5 \text{ m} \cdot \text{S}^{-1}$ .

On a vu que l'écoulement de l'eau limite la croissance bactérienne par un effet d'arrachage du biofilm. Ainsi, la qualité microbiologique de l'eau peut se dégrader avec une augmentation de la vitesse d'écoulement, surtout lorsque celle-ci est brusque, par exemple lors de la mise en marche d'une bouche d'incendie. Une demande élevée de l'eau en été (arrosage, piscines, etc.) peut aussi entraîner une dégradation de la qualité de l'eau pour la même raison.

#### **2.4-2 Influence du choix des matériaux**

Les interactions entre l'eau et les matériaux du réseau de distribution, c'est-à-dire le contenant, peuvent être à l'origine de dégradation de la qualité de l'eau distribuée.

- ⇒ Comme on l'a présenté antérieurement, il faut éviter le contact direct eau / métal (acier fonte) de façon à lutter contre tout phénomène de corrosion.

Dans les anciens réseaux constitués majoritairement de fonte grise non revêtue intérieurement, des campagnes de nettoyage ont montré (cas du Syndicat des Eaux d'Ile de France) que les dépôts recueillis par décantation sont essentiellement constitués de 40 % en poids de fer.

Pour tout matériau métallique, la migration de micropolluants dans l'eau liée fondamentalement à des réactions électrochimiques de corrosion, existe aussi bien pour le cuivre (eaux à pH bas, effet tampon faible), le plomb (eaux à pH inférieur à 7, teneur en  $\text{O}_2$  dissous non négligeable, faible minéralisation), les canalisations en acier galvanisé (après corrosion, on observe la migration de zinc parfois contaminé par le plomb, l'arsenic et le cadmium), et des alliages métalliques qui peuvent relarguer certains éléments les constituant suivant la qualité de l'eau en contact.

- ⇒ Pour les matériaux à base de ciment (béton notamment), avec une eau agressive (sous-entendu au carbonate de calcium), la chaux du liant se dissoudra progressivement en entraînant une élévation de la porosité du matériau et une élévation du pH de l'eau sans autre conséquence majeure sur la qualité.

- ⇒ Les joints des réseaux qui constituent aussi le contenant, sont soupçonnés, dans certains cas, de relarguer des substances nutritives dans l'eau pouvant stimuler la croissance bactérienne : c'est l'exemple des joints de filasses et des presses-étoupes utilisés encore jusqu'à une époque récente.
- ⇒ Certains matériaux de revêtement interne de grosses conduites ou de réservoirs relargueront pour leur part des polymères ou des adjuvants, ou des solvants ce qui se traduira par l'apparition de saveurs désagréables.

L'EPA (1992) a observé ce phénomène pour le caoutchouc, le silicone, le PVC, certain polyéthylène et les revêtements bitumineux. Plusieurs plaintes ont été constatées en Grande-Bretagne dans le courant des années 80 à ce sujet. (ASHWORTH et COLBOURNE 1986).

Pour la mise en oeuvre de ces matériaux dans les revêtements d'étanchéité, il convient d'être particulièrement attentif aux critères suivants (SCHULHOF - 1990) :

- ⇒ contraintes de mise en oeuvre sur les chantiers,
- ⇒ adhérence au support maçonné,
- ⇒ compatibilité du produit avec les modalités de nettoyage des ouvrages.

Certains matériaux sont aussi le support de prolifération bactérienne.

- ⇒ Les tuyauteries ou matières plastiques qui ont l'avantage de supprimer les risques de corrosion, et de réduire dans certains cas le nombre de joints, donc de fuites, peuvent dans des situations d'emploi particulières entraîner une dégradation de la qualité de l'eau, par exemple dans des zones à risque de pollution par hydrocarbures ou solvants (stations services, teintureries, industrie à chimie organique, ...).  
En effet, les matériaux plastiques sont, pour certains, perméables à ces produits organiques, qui migrent alors en phase gazeuse ou liquide à travers la paroi des tuyaux (perméation). Outre des risques de contamination chimique de la qualité de l'eau, ces contaminants constituent parfois, suivant leur biodégradabilité, des nutriments pour la flore bactérienne.
- ⇒ Le plomb utilisé pour les branchements faits de plomb ou les brasures qui en contiennent (jusque dans les années 1990) ainsi que pour les canalisations intérieures (antérieures aux années 1950) est également une source importante de dégradation de la qualité de l'eau potable. Sur de longues durées (plus de six heures), le plomb peut se dissoudre dans l'eau potable accumulée dans les tuyauteries en contenant notamment en fonction des caractéristiques de l'eau transportée (pH, température...). La nouvelle réglementation française sur l'eau potable stipule une valeur maximale admissible de 25µg/l à partir du 25/12/2003, au lieu de 50µg/l au titre du précédent décret 89-3, avant d'être ramené à 10µg/l à compter du 25/12/2013. Ceci se traduit par un remplacement à terme de toutes les canalisations et branchements en plomb existants. Des études menées au niveau national ont montré par exemple que les branchements en plomb représentent un tiers des branchements existants en France (soit 3 millions de branchements en plomb à remplacer).

### **2.4-3 Origine des altérations de la qualité de l'eau potable**

Le Tableau 6 ci-après décrit de façon récapitulative les différentes origines des altérations de la qualité de l'eau en cours de distribution.

L'eau potable produite dans l'usine doit en effet conserver sa qualité depuis la sortie de l'usine jusqu'au robinet de l'utilisateur. Une bonne distribution résulte donc d'un transit de l'eau sans aléas tout le long du réseau.

Cette énumération ne traite pas de cas liés à la contamination de l'eau brute ou de défauts de fonctionnement dans l'unité de production.

Les causes d'altération situées dans les installations privées sont citées à titre d'information puisque ne faisant pas partie intégrante de cette étude.

Origines	Causes	Conséquences	Dangers
Réservoirs	Mauvaise étanchéité de l'ouvrage	Infiltration de l'eau de pluie	Contamination microbiologique
	Orifices de ventilation ou voies d'accès mal protégées	Pénétration d'insectes ou autres animalcules	Altération de l'eau sur le plan organique organoleptique ou microbiologique
	Mauvais entretien (nettoyage notamment)	Apports nutritifs du fait de l'encrassement, ou de sédiments organiques	Développement de germes (clostridium, ...)
	Surdimensionnement, points bas courts-circuits de l'eau entrée-sortie, ...	Stagnation de l'eau	Altération des qualités initiales pour divers paramètres
	Réservoir exposé à la lumière du jour	Croissance d'algues	Apports de matières organiques
	Interventions effectuées en dehors des règles de l'art (désinfection, prélèvements, accès au plan d'eau, ...)	Eau potable souillée	Contamination microbiologique
Retours d'eau	Dépression (pompage intensif sur réseau, rupture de canalisation,...) ou contrepression (mise en pression dans une installation privée, ...)	Siphonnage ou refoulement de substances indésirables ou polluantes	Pollutions toxiques, microbiologiques, ou organoleptique
Environnement extérieur de la conduite	Fuites, usures au joint et dépression Perméation	Intrusion d'eaux terreuses Introduction de polluants	Pollution microbiologique essentiellement Pollution toxique ou organoleptique
Défauts du réseau	Matériau inadéquat pour l'alimentation en eau potable	Relargage de polluants Apports nutritifs Adhérence trop importante des germes Corrosion	Pollution toxique Favorise le biofilm Contamination microbiologique Altération des paramètres métaux (Fe, Zn, Pb Cu, Cd, ...)
Interventions sur le réseau	Désinfection insuffisante à la suite d'une réparation ou d'un renouvellement Manœuvre de réseau, coups de bélier Erreurs de branchement (ex : sur réseau d'eau non potable)	Développement de germes Mise en suspension de dépôts	Contamination microbiologique Pollution organoleptique voire microbiologique Contamination microbiologique entre autres
Intrusion de polluants au niveau d'une ventouse (rare)	Ventouse mal située	Eau potable souillée	Contamination microbiologique
Installation intérieure	Matériau inadéquat Juxtaposition de matériaux inadéquates Dysfonctionnement des dispositifs de traitement domestiques (surdosage, cartouches saturées ou colonisées par des bactéries, Colonisation des zones stagnantes par circuit d'eau chaude Surdimensionnement (faible consommation, longueur, ...)	Corrosion ou relargage Corrosion Stagnation de l'eau	Pollution toxique ou organoleptique Altération des paramètres métaux Relargage de bactéries ou d'éléments minéraux Contamination microbiologique (Legionella) Pollution microbiologique, chimique (NH3), organoleptique

Tableau 6 : Origines des altérations de la qualité de l'eau potable dans les réseaux et conséquences

## **3 - consignes et procédures pour limiter le risque de contamination et de dégradation de la qualité**

### **3.1 La qualité de l'eau produite**

L'eau destinée à la consommation humaine ne doit pas faire courir des risques directs ou indirects pour la santé ; pour le producteur d'eau et le distributeur ceci nécessite des obligations de résultats sur le plan des paramètres de qualité de l'eau (Décrets 89-3 du 3 janvier 1989 modifié et n°2001-1220 du 21 décembre 2001), mais aussi des obligations de moyens que ce soit pour l'eau brute (où des normes sont dictées), l'implantation de périmètre de protection autour de la prise d'eau, un agrément de la filière de traitement et des réactifs employés, tout comme des matériaux, enfin une obligation d'entretien des ouvrages.

Dans tous les cas, la qualité de l'eau doit être garantie non seulement à la sortie de l'usine mais jusque chez le consommateur où la responsabilité du distributeur est en cause de façon ultime. Cela est d'autant plus vrai depuis la directive du 3 novembre 1998 et le décret 2001-1220 qui prévoient que la conformité de la qualité de l'eau soit assurée jusqu'au niveau des robinets des usagers.

Pour assurer la stabilité de la qualité de l'eau distribuée et faire en sorte qu'elle « reste potable ». L'eau devra être parfaitement désinfectée, exempte de particules, avoir un faible excès d'oxydant et un taux aussi faible que possible de matières organiques biodégradables ; tous les équilibres seront ajustés et régulés de manière à éviter entartrage excessif, corrosion et dissolution de matériaux.

Dans ce cadre, des traitements de désinfection et de réduction des éléments nutritifs sont suffisamment importants pour que nous rappelions les techniques à utiliser avec leurs avantages et inconvénients.

#### **3.1-1 Traitements de désinfection**

L'élimination des microorganismes constitue un objectif essentiel d'une chaîne de traitement d'eau potable. Si les filières de coagulation, clarification et filtration ne permettent pas une totale élimination, même s'ils constituent déjà des « barrières désinfectantes », celle-ci est effectuée par une étape de désinfection dans la station de traitement.

Une post-désinfection (désinfection finale) est fréquemment employée afin de laisser un résiduel oxydant actif dans l'eau produite, qui limitera la reviviscence dans le réseau.

Le choix de procédé de désinfectant devra tenir compte :

- ⇒ du pouvoir oxydant,
- ⇒ de la capacité d'inactiver les microorganismes susceptibles d'être présents,
- ⇒ de la stabilité de l'oxydant sous les conditions anticipées (pH, température, temps de séjour),
- ⇒ de la potabilité,
- ⇒ des sous-produits que le désinfectant peut générer,
- ⇒ des matériaux dans le réseau (risque de corrosion ou de réactions avec un oxydant fort),
- ⇒ de la charge organique de l'eau qui va consommer l'oxydant durant son trajet dans le réseau.

Les deux derniers points sont très importants. En effet, l'élimination des substrats qui consommeront le désinfectant contribuera au maintien ou non du désinfectant résiduel.

Quatre types de désinfection sont couramment utilisés juste avant le réseau : le chlore, la chloramine, le dioxyde de chlore et les techniques membranaires (encore que ça n'affranchit pas le traiteur d'eau, d'un appoint résiduel en chlore dans la réglementation française). Il faut cependant bien comprendre qu'il n'y a pas de désinfectant parfait et qu'il ne faut pas compter exclusivement sur le désinfectant résiduel pour prévenir tout problème bactériologique, l'élimination de la matière organique et des particules en suspension étant tout aussi fondamentale.

**NB** : Le traitement par ozone n'est pas cité ici parce qu'il n'a aucun pouvoir rémanent et qu'il n'est donc pas utilisé pour assurer un résiduel de désinfectant en réseau ce qui est l'objet du chapitre.

### **Le chlore**

Le chlore libre ( $\text{ClO}$ ,  $\text{HClO}$ ) a souvent été le choix évident pour le désinfectant résiduel. La réglementation française limite la valeur du chlore résiduel à 0,1 mg/l au robinet (décret du 3 janvier 1989). Cette valeur est légèrement revue à la hausse par le décret n°2001-1220 qui fixe pour les Chlorites une référence de 0,2 mg/l en précisant que « sans compromettre la désinfection, la valeur la plus faible possible doit être visée. Il faut savoir néanmoins qu'un résiduel de chlore libre de 3 à 6 mg/l est nécessaire pour contrôler des fortes reviviscences bactériennes. La chloration ne résout donc pas le problème fondamental de l'accumulation d'une biomasse vivante fixée à la surface des canalisations, surtout aux concentrations pratiquées actuellement en France (PAQUIN - 1991).

L'utilisation d'une concentration élevée de résiduel n'est pas recommandée à cause des autres effets produits. Plus de 300 sous-produits dont certains ont une nocivité démontrée, ont été identifiés qui résultent de la réaction entre le chlore et la matière organique (trihalométhanes, chloropicrin, acides haloacétiques, trichloropropanone...), dont 13 font l'objet des recommandations OMS (Organisation Mondiale de la Santé - 1994). L'élimination des matières organiques et des précurseurs de sous-produits chlorés devra donc être optimisée au cours des éventuelles étapes de coagulation ou d'adsorption sur charbon actif.

Le chlore présente aussi l'inconvénient de produire des substances sapides, source de plaintes du public sur les goûts et odeurs. Enfin, une concentration élevée d'oxydant conduit à un taux de corrosion important.

### **Le Dioxyde de chlore**

La désinfection par dioxyde de chlore est généralement plus chère et plus compliquée à effectuer que celle par chlore. Le dioxyde de chlore doit en effet être synthétisé sur place. La décomposition du dioxyde de chlore peut produire chlorite et chlorate, qui sont des composés contrôlés dans certains pays notamment les Etats Unis ( $\text{ClO}_2 + \text{ClO}_2^- + \text{ClO}_3^- < 1 \text{ mg/l}$ ). La valeur-guide pour les chlorites est de 200  $\mu\text{g/l}$  (DUGUET - 1995).

Les avantages du dioxyde de chlore sont :

- ⇒ Il ne génère pas de problèmes de goût dans l'eau après traitement.
- ⇒ Son effet biocide plus important que le chlore à des pH supérieurs à 7,5.
- ⇒ Il n'augmente que très peu le chlore organique total par rapport au chlore. H est aussi utilisé en présence importante d'acides fulviques ou humiques.
- ⇒ Il ne donne pas de Trihalométhanes.

## Les chloramines

Des études récentes ont montré que la chloramine, un composé combiné de chlore, est beaucoup plus stable que le chlore et est plus efficace pour lutter contre les biomasses fixées grâce à une meilleure pénétration du biofilm. Aux Etats Unis, la chloramine a été introduit comme désinfectant résiduel dans plusieurs réseaux de distribution dans les années 1980, avec des résultats souvent impressionnants. L'expérience de ces réseaux indique que des concentrations de chloramine de 2 à 4 mg/l permet le contrôle du biofilm. Il existe probablement un seuil de concentration en dessous duquel la chloramine n'a pas d'effet significatif sur les biofilms présents sur les parois en fonte. Le seuil indiqué dans ces études américaines est de 2 mg/l, mais cette concentration dépend vraisemblablement d'autres caractéristiques inhérentes à l'eau ou au réseau. (EPA - 1992)

Les essais français sur la chloramine ont été plus décevants. Les monochloramines réagissent en réseau en produisant des composés sapides. La décomposition de chloramine en ammoniac et chlore peut produire par ailleurs des nitrites dans le réseau. Par ailleurs, des études ont montré que l'emploi de ce réactif impose l'utilisation d'une solution-mère de monochloramine stabilisée à pH élevé pour éviter la formation de dichloramine, particulièrement saporigène. (Commission Distribution d'Eau de l'AGHTM - 1990).

L'accroissement inconsidéré du taux de chlore pour limiter le nombre de bactéries dans le réseau n'est pas une solution viable parce que :

- ⇒ les eaux qui ont un potentiel de prolifération bactérienne ont des demandes en chlore élevées. Le biofilm s'autoprotège,
- ⇒ il y a risque de formation de TOX et THM (Trihalométhanes),
- ⇒ il y a production de composés sapides,
- ⇒ le résiduel élevé accroît la corrosion, comme nous l'avons déjà cité.

La détermination de la concentration en chlore pour limiter le biofilm impose le plus souvent une expérimentation in situ (PAQUIN -1992).

## Filtration lente de l'eau

Ce traitement « biologique » ne nécessite aucun réactif chimique, son principe est basé sur le passage de l'eau à très faible vitesse (0.1 à 0.5 m/h) au vitesse d'un massif sableux (TE de 0.2 à 0.5 mm) sur une épaisseur de 0.6 à 1 m. Le film biologique (algues, bactéries, zooplancton) qui se développe en surface après quelques semaines contribue à l'élimination du COT et des matières humiques, mais aussi des microorganismes (bactéries, protozoaires, virus).

Ce procédé présente des avantages par sa simplicité mais aussi des risques de dysfonctionnement (colmatage par les algues, difficulté de lavage du sable, ...).

Les inconvénients des désinfectants classiques appliqués en fin de traitement a poussé plusieurs organismes distributeurs de l'eau à adopter des approches alternatives, en supprimant l'étape finale de désinfection par oxydant chimique et en investissant davantage la filtration lente sur la réduction des matières organiques. Tel est le cas de la ville d'Amsterdam.

En 1983, la chloration en fin de traitement a en effet été arrêtée sur deux stations de traitement d'eau potable dans la ville d'Amsterdam. Une filtration lente par sable a remplacé alors l'étape de chloration finale dans les usines. Dans les deux cas, les teneurs moyennes en carbone organique assimilable (COA) ont diminué ainsi que les concentrations de

composés halo-organiques tandis que les quantités de bactéries dans l'eau produite et dans le réseau sont restées constantes ou ont diminué (Tableau 7 ).

Sans passer en revue l'ensemble des techniques de désinfection utilisables, le Tableau 8 présenté par la SAGEP situe les techniques les unes par rapport aux autres.

### **3.1-2 Réduction des éléments nutritifs**

L'élimination, ou au moins une réduction importante, des matières organiques en sortie d'usine de production est le moyen le plus direct de la prévention de la reviviscence bactérienne. Malheureusement, elle est difficile à mettre en oeuvre et reste un objectif à long terme pour la plupart des usines. Le développement de nouveaux traitements continue à être un sujet de recherche de pointe, même si les techniques de filtration permettent d'atteindre des rendements intéressants (cas de la filtration lente notamment).

En général, on vise à une teneur en CODE de moins de 0.2 mg/l.

Signalons les techniques tout particulièrement adaptées.

#### **Ozone-CAG et double filtration Sable – CAG**

Le couplage ozonation/filtration sur charbon actif en grain est mis en oeuvre en fin de filière de traitement après clarification complète de l'eau. L'ozonation accroît la fraction biodégradable des matières organiques, qui sont ensuite plus efficacement éliminées lors de la filtration sur charbon par adsorption-biodégradation. L'augmentation du taux d'oxygène dissous, lors de l'ozonation, offre également l'avantage de stimuler l'activité des microorganismes.

Toutefois, l'ozonation peut saturer la capacité de filtration et d'élimination du CODB par le charbon actif, en formant justement trop de fraction biodégradable dissous. C'est ainsi que la post-ozonation a été supprimée dans certaines stations pour éviter la génération de COA.

La double filtration sable-CAG est pour sa part tout à fait adaptée à une élimination maximale du CODB, on constate en effet qu'en augmentant le temps de contact de l'eau sur les masses filtrantes, la concentration initiale en CODB chute considérablement (DELANDRE -1991).

Paramètre	Avant arrêt de la désinfection finale	Après arrêt de la désinfection finale
Carbone organique assimilable (COA) dans l'eau produite (mg acétate C eq/litre)	20	<12
Trihalométhanes totaux (µg/l) dans le réseau et dans l'eau produite	20-22	0
Flore totale de l'eau dans le réseau 22° C(ufc/ml)	2-10	2-10 (été) 10-100 (hiver)

Tableau 7 : Indicateurs de la qualité de l'eau avant et après la désinfection finale à Lake Water Works, Amsterdam (valeurs moyennes) (SCHELLART - 1986)

Réactifs	Efficacité			Pouvoir rémanent	Effet bactériostatique sur le biofilm
	Bactéries	Virus	Kystes		
HOCl	++++	++++	++	++++	++
OCl	+++	++	+	+++	+++
NH <sub>2</sub> Cl	++	+	Néant	++++	++++
O <sub>3</sub>	++++	++++	+++	Néant	Néant
ClO <sub>2</sub>	++++	++++	+++	++++	++

++++ : excellent    ++ : moyen  
+++ : bon            + : faible

Tableau 8 : Techniques de désinfection utilisables – efficacité et caractéristiques

### Membranes de filtration

Les techniques séparatives par membrane (microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration) permettent d'assurer aussi bien l'élimination physique des matières organiques que celle des microorganismes (en fonction du pouvoir de coupure de la membrane). Elles ont l'intérêt dans ce dernier cas de ne pas présenter de risque de formation de sous-produits de désinfection. (Cahier Technique FNDAE n°14). (L'utilisation des techniques membranaires a fait l'objet d'une circulaire DGS/VS4 no 25, 16 mars 1995 non publiée au J.O).

L'utilisation des membranes limite le CODB entrant dans le réseau et diminue de façon sensible les germes présents dans le réseau comme le montrent les études réalisées par la Compagnie Générale des Eaux à Méry-sur-Oise (PIRIOU - 1996).

Ces techniques nécessitent d'utiliser une méthode de vérification de l'intégrité des membranes (Microfiltration et Ultrafiltration notamment) et l'ajout final de chlore pour maintenir malgré tout un résiduel de désinfectant sur le réseau. Les CT seront dans ce cas fortement réduits puisque la matière organique avec laquelle le chlore peut réagir n'est plus présente. Notons cependant que le Ministère de la Santé n'a pas à ce jour reconnu les traitements membranaires comme désinfectants, et que les indicateurs de désinfection habituels ne peuvent en aucun cas être pris en compte pour les caractériser.

Un comptage particulière après les modules membranaires s'avère par ailleurs nécessaire.

A leur avantage par rapport aux traitements conventionnels, l'efficacité de ces procédés est indépendante de la qualité de l'eau brute, et l'action sur les kystes de protozoaires (Cryptosporidium, Giardia, ...) et sur les virus est beaucoup plus importante.

### **3.2 La conception et le dimensionnement des réseaux**

Au chapitre 2, les principaux facteurs de dégradation de la qualité de l'eau ayant pour origine une mauvaise conception et une exploitation mal maîtrisée du réseau avaient été mentionnés.

Il est utile de revenir plus précisément sur le choix des matériaux à utiliser pour le transport ou le stockage de l'eau destinée à la consommation car ce choix doit être fait avec la plus grande précaution et adapté rigoureusement à la fonction du matériau.

#### **3.2-1 Les matériaux à utiliser**

Comme le signale la circulaire DGS/VS 4 n°99-217 du 12 avril 1999 du Ministère délégué à la Santé, les matériaux peuvent influencer, de manière significative, la qualité de l'eau livrée aux consommateurs ; cette influence peut prendre des proportions importantes lorsque se développent des phénomènes de corrosion (cas des canalisations métalliques et des bétons) ou de dégradation (cas des matériaux de type organique).

Certains incidents trouvent leur origine dans des insuffisances de conception, de mise en oeuvre ou d'entretien des installations de distribution et de traitement : les difficultés sont très souvent la conséquence d'un choix de matériau inadapté à la qualité des eaux distribuées ou d'une mise en oeuvre défectueuse. Dans certains cas, les matériaux peuvent eux-mêmes être mis en cause (vieillesse prématurée, tenue insuffisante vis-à-vis des sollicitations internes ou externes).

L'altération des matériaux, résultant d'une migration plus ou moins rapide des substances qui les composent, peut entraîner au niveau de l'eau un certain nombre de désordres, tels une modification des propriétés organoleptiques, une détérioration de la qualité microbiologique par une augmentation du nombre de germes et éventuellement un enrichissement progressif en substances toxiques ou indésirables, minérales ou organiques.

Ces considérations générales ont été prises en compte dans le décret n° 89.3 du 3 janvier 1989 modifié relatif à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine (article 7)

Depuis lors la réglementation relative aux matériaux utilisés dans les systèmes de production ou de distribution d'eau potable a connu d'importants développements comme en témoignent l'arrêté du 29 mai 1997 (J.O. du 1<sup>er</sup> juin 1997) et le décret 2001-1220.

Ainsi dans son article 32 le nouveau décret « eau potable » du 21 décembre 2001 prévoit que :

« Les matériaux utilisés dans les systèmes de production ou de distribution, au contact de l'eau destinée à la consommation humaine, ne doivent pas être susceptibles d'altérer la qualité de l'eau. Leur utilisation est soumise à une autorisation du ministre chargé de la santé, donnée après avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments. Les conditions de cette autorisation sont précisées par un arrêté des ministres chargé de la santé, de l'industrie et de la consommation, pris après avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments. »

Cet article reprend en grande partie le contenu de l'article 7 du décret de 1989, on notera toutefois l'introduction d'un système d'autorisation des matériaux destinés à être utilisés dans les systèmes de production ou de distribution d'eau potable.

L'arrêté du 29 mai 1997 (JO du 1er juin 1997) définit les conditions auxquelles doivent répondre les matériaux et objets utilisés dans les installations fixes de production, de traitement et de distribution d'eau destinée à la consommation humaine.  
(ce texte a été modifié à trois reprises par les arrêtés du 24 juin 1998, du 13 janvier 2000 et du 22 août 2002)

Notons que ce texte abroge les prescriptions du règlement sanitaire départemental-type relatives aux matériaux utilisés dans les réseaux de distribution d'eau potable (article 3 du règlement sanitaire départemental-type, circulaire du 9 août 1978).

Ses annexes fixent les listes de matériaux et leurs composants qui peuvent être employés dans les réseaux de distribution d'eau potable. Peuvent être ainsi utilisés, sous réserve du respect de certaines conditions, les métaux, alliages et revêtements métalliques à base de cuivre, de fer, d'aluminium et de zinc, les matériaux à base de liants hydrauliques, ainsi que les matériaux organiques fabriqués à partir des constituants chimiques autorisés.

L'arrêté du 29 mai 1997 fait peser sur les fabricants de matériaux une obligation de conformité qui les oblige à démontrer que les matériaux ne détériorent pas la qualité de l'eau.

Prise en application de cet arrêté la circulaire DGS/VS4 no 99-217 du 12 avril 1999 a mis en place un dispositif d'attestation de conformité des matériaux qui s'appuie sur deux conditions complémentaires :

- ⇒ chaque matériau doit être constitué de substances référencées dans l'une des listes figurant en annexe de la circulaire du 12/04/1999 ou dans les annexes du décret du 29/05/1997 ;
- ⇒ des essais de migration doivent alors être réalisés. Seuls les matériaux organiques sont à l'heure actuelle concernés par ces essais et peuvent faire l'objet d'une ACS. Ce système devrait prochainement être étendu aux autres matériaux. Dans l'attente, les fabricants doivent fournir des déclarations sur l'honneur de conformité.

En annexe de cette circulaire figure un guide pratique pour la constitution des dossiers relatifs à la conformité sanitaire des matériaux placés en contact avec les eaux destinées à la consommation humaine.

Ces dispositions s'appliquent aux matériaux des installations neuves ou faisant l'objet de réhabilitation à compter du 1/06/1998 et du 1/06/1999 pour les joints, les raccords et les accessoires.

Les utilisateurs des matériaux doivent donc s'assurer auprès de leurs fournisseurs de l'obtention pour chaque matériau en contact avec l'eau d'une attestation de conformité sanitaire (ACS) attribuée par un laboratoire agréé.

Notons que cette circulaire entraîne l'abrogation des circulaires DGS/VS4 no 94-9 du 25 janvier 1994 et DGS/VS4 no 96-155 du 1er mars 1996.

L'arrêté du 29 mai 1997 devait entrer en vigueur le 1er juin 1998. Toutefois, pour tenir compte de travaux complémentaires en cours, un délai supplémentaire d'un an avait été introduit par l'arrêté du 24 juin 1998 (JO 25 août 1998) pour les joints, les raccords de canalisation les accessoires. Cette échéance du 1er juin 1999 n'a pas été remise en cause pour les joints et raccords. En revanche, elle a été repoussée de nouveau pour les

accessoires. Elle était donc fixée au 1er avril 2002 (Arrêté du 13 janvier 2000, JO 21 janvier 2000) .

Mais un nouvel arrêté du 22 août 2002 (J.O 3 sept 2002) a reporté l'entrée en vigueur de ces dispositions au 31 décembre 2002 pour les robinets vanne à opercule, les robinets à papillons à joints sur le papillon, les robinets à papillons à joints sur le corps et les poteaux et bouches d'incendie, et au 24 décembre 2003 pour l'ensemble des autres accessoires. Ce texte a par ailleurs introduit de nouvelles dispositions concernant les revêtements de nickel et de chrome des raccords et des accessoires.

S'agissant des accessoires placés au contact de l'eau destinée à la consommation humaine (robinets, pompes, jauges, disconnecteurs, surpresseurs, compteurs volumétriques, capteurs), des dossiers de demande d'attestation de conformité sanitaire (ACS) doivent être déposés auprès de l'un des laboratoires habilités figurant en annexe I de la circulaire DGS/VS4 no 99-305 du 26 mai 1999. Les laboratoires délivrent un accusé de réception du dossier qui est examiné conformément à un protocole (Circ. no 99-305, 26 mai 1999, ann. II, III et IV).

Une procédure d'attestation communautaire de conformité des produits de construction en contact avec l'eau destinée à la consommation humaine a également été instituée (Déc. no 2002/359, 13 mai 2002, JOCE 14 mai 2002, no L 127, p. 16). Les produits concernés par cette procédure sont les kits de tuyauterie et systèmes de stockage, tuyaux, réservoirs, vannes, robinets, pompes, compteurs, dispositifs de protection et de sécurité, raccords, adhésifs, joints, scellements de joints, joints d'étanchéité, membranes, résines échangeuses d'ions, revêtements, y compris garnitures, lubrifiants et graisses en contact avec l'eau destinée à la consommation humaine.

Dans cette procédure, un organisme agréé de certification intervient dans l'évaluation et la surveillance du contrôle de la production ou du produit lui-même. Ceci s'ajoute au système de contrôle de la production appliqué à l'usine par le fabricant. Les spécifications techniques correspondant à cette procédure d'attestation de conformité doivent être précisées par le Comité européen de normalisation (CEN).

Le respect des exigences réglementaires requises pour la qualité des eaux de consommation humaine reste tributaire des effets éventuels des matériaux placés à leur contact ; il s'agit tout particulièrement de certains éléments chimiques classés, par le décret du 3 janvier 1989 cité ci-avant, comme substances indésirables telles que le cuivre, le fer et le zinc, mais aussi comme substances toxiques telles que le plomb, le cadmium et les hydrocarbures polycycliques aromatiques.

La circulaire du 24 janvier 1994 soulignait à cet égard que : « les difficultés pour respecter les teneurs limites en plomb, 50 microgrammes/litre après soutirage, avec les eaux agressives et les eaux bicarbonatées calciques doivent conduire à ne plus utiliser de canalisations en plomb pour distribuer des eaux destinées à la consommation humaine, que ce soit pour les branchements publics ou pour les réseaux intérieurs d'immeubles. L'interdiction définitive de poser des canalisations en plomb dans des installations nouvelles, quelle que soit la qualité de l'eau véhiculée dans les réseaux de distribution, devrait être prononcée prochainement par voie réglementaire ». Ceci a été mis en oeuvre dans le Décret 95-363 et reprise à l'article 35 du décret du 20 décembre 2001 (voir Annexe 5).

### **Cas des matériaux de type organique**

Pour ce type de matériau, les travaux de normalisation des méthodes d'essai ont progressé rapidement du fait de l'expérience déjà acquise par les distributeurs d'eau, les fabricants de matériaux organiques et les autorités sanitaires pour aboutir en 1996 à trois normes AFNOR expérimentales définies dans la circulaire DGS/96-155 du 1er mars 1996. La circulaire N°99-217 du 12 avril 1999 précise que ces normes sont actuellement en cours de mise à jour.

La réglementation nationale applicable aux matériaux et objets placés en contact avec les denrées alimentaires est rassemblée dans le brochure n° 1227 « Matériaux au contact des aliments et denrées destinées à l'alimentation humaine », publiée par la Direction des Journaux Officiels. Elle intègre en droit national les directives européennes en vigueur dont les directives 90/128/CEE, 92/39/CEE, et 93/9/CEE relatives aux matériaux et objets en matière plastique destinés à entrer en contact avec les denrées alimentaires.

Ces normes consistent à réaliser :

- ⇒ des essais dits de « criblage rapide » permettant notamment d'évaluer les effets du matériau sur la qualité organoleptique des eaux distribuées,
- ⇒ des essais biologiques basés sur un test de cytotoxicité,
- ⇒ des essais dits de « criblage fin » permettant de mesurer la migration éventuelle de micropolluants minéraux et organiques.

Pour chaque matériau, les constituants (polymères de base, additifs et auxiliaires technologiques) utilisés pour la fabrication doivent avoir fait l'objet d'une autorisation, après avis du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France. Les constituants autorisés dans le cadre de la réglementation concernant les matériaux et objets au contact des denrées alimentaires (Brochure 1227 citée ci-avant) répondent à cette obligation.

Certains pays ont par ailleurs définis des « listes positives », c'est-à-dire des listes de produits et composés autorisés pour la préparation des divers matériaux organiques.

L'annexe 3 présente les matériaux organiques concernés par les essais et quelques résultats à obtenir pour l'acceptation du matériau. L'annexe 4 précise le circuit administratif à suivre pour ces essais en ce qui concerne les matériaux organiques fabriqués à partir de constituants autorisés.

*Notons que le décret n° 92-631 du 8 juillet 1992 relatif aux matériaux et objets destinés à entrer en contact avec les denrées, produits et boissons pour l'alimentation de l'homme ou des animaux a été modifié récemment par les décrets n°99-242 du 26 mars 1999 (JO du 28 mars 1999) et n°2001-1097 du 16 novembre 2001 (JO du 23 novembre 2001).*

### **Exemples de matériaux utilisés en réseau : les revêtements**

Les revêtements bitumineux employés autrefois sont maintenant reconnus être à l'origine de saveurs (chlorophénols, organo-soufrés) et relargage de produits organiques aromatiques, suspectés d'être cancérigènes (phénols, en particulier). Des problèmes associés avec quelques revêtements sont détaillés dans le Tableau 9 ci-après.

Les revêtements inhibiteurs de corrosion par exemple contiennent souvent des solvants et favorisent une croissance bactérienne initialement importante. Mais cette croissance décroît avec le temps, parce que le relargage des solvants décroît lui-même avec le temps. La température est également un paramètre affectant le relargage. Ces constats ont conduit à un traitement des tuyaux à température élevée (50-80° C) après l'application des revêtements. De cette façon, le relargage de solvants dans le réseau est réduit et n'est plus suffisant pour favoriser une prolifération bactérienne notable. Toutefois, les effets toxicologiques des solvants peuvent toujours être présents. (SCHOENEN - 1989).

Les accélérateurs (présents dans certaines résines époxy), les plastifiants (ajouté aux revêtements en PVC) et les pigments (qui peuvent inclure des substances inorganiques ou organiques, par exemple, sulfide de cadmium, oxyde de fer, dioxyde de titane) ont aussi été identifiés comme causes de problèmes éventuels.

Type de revêtement	Origine et conséquence du problème	Référence
Bitume	Certains types de bitume relarguent du solvant progressivement, résultant en une croissance microbienne et teneurs élevées en PAH	Näf A - 1982
Caoutchouc chloré	Relargage du solvant, produisant des saveurs et odeurs désagréables	Schoenen et Karrenbrock -1984
Résine epoxy	Présence de solvants et/ou accélérateurs comme additifs. Croissance bactérienne et coloration observées dans les réservoirs	Roggenkamp K. - 1982
Polyester	Décomposition chimique possible	
Polyvinylchloride (PVC) (films, coating)	Présence de solvants et plastifiants en certains revêtements en PVC pour assurer une flexibilité	Schoenen -1985
Mortier de ciment	Des additifs peuvent être présents pour l'amélioration des performances du ciment (ex. accélérateurs, additifs anti-corrosions)	Schoenen -1985

Tableau 9: Revêtements associés à un relargage de substances organiques utilisables par les microorganismes (croissance bactérienne observée en exploitation ou en laboratoire) (SCHOENEN - 1989)

### **Cas des matériaux de type inorganique**

Pour leur part, la situation est très différente car ils sont souvent utilisés depuis fort longtemps et, à l'exception du plomb, n'ont pas posé de problème sanitaire important.

Néanmoins, de nouveaux alliages arrivent sur le marché, et l'utilisation, pour la fabrication des ciments par exemple, de cendres et autres sous produits a conduit les autorités sanitaires à envisager des tests adaptés à ces matériaux. Ceux-ci sont à l'étude au niveau de groupes d'experts européens même si des procédures de test sont déjà au point en partie (au Water Research Center par exemple).

Ceci permettra dans un second temps de délivrer un label de qualité à ces matériaux ayant subi les essais avec succès.

### **3.2-2 Conception des ouvrages de stockage**

Dans un système de distribution, les réservoirs remplissent principalement trois fonctions :

- ⇒ assurer une réserve tampon pour compenser les écarts entre la production et la consommation,

- ⇒ maintenir la pression dans le réseau,
- ⇒ constituer une réserve en cas d'incidents,
- ⇒ et, dans certains, cas, assurer la défense incendie.

La conception des réservoirs doit permettre de répondre à ces fonctions essentielles, en particulier, dans la détermination des côtes altimétriques et du volume.

Mais, afin d'éviter les risques importants de dégradation de la qualité de l'eau dans ces ouvrages, certaines règles de conception doivent être prises en compte dès l'origine du projet.

En novembre 1998 l'AFNOR a publié une norme concernant les réservoirs d'eau potable extérieurs aux bâtiments des consommateurs et situés sur les réseaux d'alimentation en eau potable. Il s'agit de la norme NF EN 1508 "Alimentation en eau - Prescriptions pour les systèmes et les composants pour le stockage de l'eau"

Elle donne des indications sur les prescriptions générales applicables aux réservoirs de stockage de l'eau potable branchés sur le réseau de distribution et aux réservoirs contenant de l'eau non destinée à la consommation humaine reliés aux prises d'eau ou situés à l'intérieur des installations de traitement (utilisation industrielle, agricole, dans la lutte contre les incendies...).

Elle rassemble un ensemble de prescriptions fonctionnelles allant de la conception des ouvrages à leur mise en service et exploitation ultérieure y compris les réparations ou réhabilitations possibles. Elle traite également des prescriptions générales pour les normes de produits.

Cette norme ne couvre pas les réservoirs faisant partie de la chaîne de traitement elle-même.

Cette norme peut être utilisée en complément du nouveau fascicule 74 du CCTG "Construction des réservoirs et châteaux d'eau en béton armé, en béton précontraint ou en maçonnerie et des ouvrages annexes" qui traite principalement de la conception et de l'exécution des ouvrages de stockage d'eau dans leur globalité.

Ces précautions ne dispensent pas, bien entendu, d'apporter un soin particulier à l'exploitation de ces ouvrages, en particulier lors des nettoyages périodiques (cf. chapitre 3.2-2).

## **Renouvellement de l'eau**

### **Temps de séjour**

Comme dans les autres parties du réseau, le renouvellement de l'eau dans les réservoirs est une condition nécessaire à la préservation de la qualité de l'eau.

Le temps de séjour dépend directement des volumes de stockage. A l'exception des recommandations de 1946 et 1948 (Circulaire du 12 décembre 1946 du Ministère de l'Agriculture et des directives en date du 30 juillet 1948 du Ministère de la Reconstruction et de l'Urbanisme), aucun texte récent ne définit les volumes à prendre en compte. En pratique, on peut retenir les ordres de grandeur suivants pour le dimensionnement des réservoirs :

- ⇒ une journée de consommation en milieu rural,
- ⇒ une demi-journée de consommation en milieu urbain.

Ces volumes permettent d'assurer une sécurité d'approvisionnement suffisante sans pour autant exagérer le temps de séjour de l'eau dans l'ouvrage. De façon plus générale, on considère que le volume de stockage doit être renouvelé dans un intervalle de 1 à 3 jours. Selon les données allemandes, des temps de séjour atteignant 5 à 7 jours sont possibles, sans altérer la qualité de l'eau.

### Brassage de l'eau

La forme des réservoirs ainsi que les dispositifs de remplissage et de vidange doivent permettre une circulation suffisante de l'eau pour éviter la formation de zones d'eau stagnante et donc empêcher la prolifération des germes.

La conception de ces dispositifs demande souvent la réalisation d'une étude sur modèle physique pour optimiser les conditions de mélange (à l'exemple du réservoir de Montmorency récemment réalisé par le SEDIF).

Le positionnement judicieux des conduites d'arrivée et de vidange peut, par exemple, favoriser le mélange de l'eau entrant dans le réservoir avec celle s'y trouvant déjà. Dans le cas d'ouvrages importants, on peut envisager la mise en place d'équipements spécifiques comme des chicanes.

### Réserve incendie

Certains réservoirs sont équipés de telle manière qu'une partie de leur capacité constitue une réserve incendie. Le volume pris en compte est généralement de 120 m<sup>3</sup>.

Afin d'éviter l'existence d'une tranche d'eau morte, le dispositif de vidange utilisé est constitué d'un siphon qui se désamorçe quand le niveau de la réserve est atteint. En cas de sinistre, l'ouverture d'une vanne permet grâce à une crépine située en partie basse de la cuve, d'utiliser le volume de la réserve. Ainsi, tout en restant disponible, la tranche d'eau constituant la réserve se trouve constamment renouvelée.

## Choix des matériaux

On s'attachera à utiliser des matériaux adéquats en apportant un soin particulier au choix des joints et des enduits. (Cf. chapitre 3., .2-1)

Le béton précontraint apparent constitue une solution intéressante s'il est réalisé avec soin : il est étanche, résistant et d'un entretien facile. Dans le cas où un traitement de surface est nécessaire, on utilise des enduits synthétiques de type alimentaire qui peuvent présenter une certaine fragilité lors des opérations de nettoyage.

La nature du revêtement constitue un problème majeur, en particulier sa résistance et sa compatibilité avec les caractéristiques de l'eau et des solutions désinfectantes utilisées.

De plus, il a été montré que le développement de microorganismes était plus important et plus rapide sur les matières synthétiques organiques que sur le ciment brut (HOULMANN - 1992).

## Étanchéité de l'ouvrage et équipements divers

L'étanchéité des ouvrages de stockage est indispensable, à la fois pour la tenue mécanique de l'ouvrage et, pour préserver la qualité de l'eau.

L'attention se portera sur toutes les parties de l'ouvrage :

- ⇒ murs, terrasse, radier,
- ⇒ capots et accès divers.

Il faut noter que la mauvaise étanchéité de la partie supérieure du réservoir est souvent la cause d'apport d'eaux de ruissellement parasites.

## Isolation thermique

Les variations importantes de la température (journalières ou saisonnières) peuvent favoriser la dégradation de la qualité de l'eau en particulier le développement d'algues et de mousse, mais aussi accélérer les fissurations ou l'éclatement du béton.

A ce sujet, les réservoirs enterrés sont thermiquement bien isolés et permettent de conserver quasi-constante la température de l'eau.

## Protection des entrées d'air

Le renouvellement de l'air dans les réservoirs est indispensable. Il faut cependant protéger les entrées d'air contre la pénétration des poussières, des insectes voire de petits animaux.

A cet effet, les dispositifs d'aération comporteront des tamis à maille fine (vide de maille 0.5 mm) en acier inoxydable ou en matière plastique.

L'extrémité des canalisations de vidange et de trop plein seront équipées de siphons et protégées par des grilles pour éviter les pénétrations.

### Limitation de l'éclairage naturel

La lumière favorise la croissance des algues dans l'eau, l'éclairage naturel permanent à l'intérieur du réservoir est donc à proscrire. L'ouvrage sera par contre équipé d'un éclairage artificiel permettant son exploitation et son entretien en toute sécurité. Il pourra s'agir d'un équipement mobile ou à poste fixe.

### Dispositions diverses

On peut citer de plus quelques détails, souvent négligés, mais qui facilitent l'exploitation de l'ouvrage et en particulier les opérations de nettoyage :

- ⇒ réalisation d'une pente sur le radier de l'ouvrage et mise en place de la vidange au point bas,
- ⇒ réalisation d'accès et de trappes de taille suffisante pour la manutention du matériel,
- ⇒ les poteaux éventuels seront de section carrée pour faciliter leur nettoyage.

### **3.2-3 Conception des points singuliers : ventouses/vidanges**

Parmi les matériels de robinetterie, fontainerie installés sur un réseau de distribution, certains peuvent, par leur fonction, favoriser un contact entre l'eau potable transportée et le milieu extérieur. Il est donc important de prendre certaines mesures simples afin d'éviter tout risque de contamination.

Citons par exemple :

- ⇒ Les ventouses : les ventouses sont placées sur les points hauts du réseau, elles permettent l'évacuation de l'air lors du remplissage des canalisations, le dégazage en fonctionnement ou encore l'admission d'air lors de la vidange des conduites, Ces appareils sont installés dans des regards ou des chambres. Ceux-ci doivent être munis d'un orifice de ventilation ainsi que d'un système d'évacuation d'eau efficace dans leur partie basse. Il s'agit, en particulier, d'éviter le remplissage du regard afin d'éliminer tous risques de retour d'eau (par exemple, entrée d'eau souillée dans le réseau par siphonnage).
- ⇒ Les vidanges : les vannes de vidange sont placées au point bas du réseau. Pour l'évacuation des eaux, on mettra en place un dispositif performant à l'aide de drain, de fossés ou de collecteurs. Il s'agit de permettre un écoulement correct des eaux afin d'éviter la création de zones d'eaux stagnantes susceptibles de contaminer le réseau à la suite d'un retour d'eau.
- ⇒ Poteaux d'incendie, bouches d'arrosage, bornes de puisage : l'utilisation abusive des poteaux d'incendie à des fins d'arrosage ou de nettoyage peut être à l'origine d'une pollution du réseau par retour d'eau.

On favorisera donc l'implantation et l'utilisation d'appareils spécifiques telles que les bouches d'arrosage ou les bornes de puisage équipées de clapet antipollution.

Notons que la défense contre l'incendie n'est qu'un « objectif complémentaire des réseaux d'alimentation en eau potable qui ne doit pas nuire au fonctionnement du réseau en régime normal, ni conduire à des dépenses hors de proportion avec le but à atteindre » (Circulaire du Ministère de l'Agriculture du 9 août 1967).

La prise en compte systématique de la défense incendie (17 l/s avec une pression résiduelle de 1 bar) pour le dimensionnement des réseaux d'eau potable peut conduire à un surdimensionnement général des installations. Il en résulte des vitesses de circulation de l'eau très faibles en distribution normale et donc des risques importants de dégradation de la qualité.

Le débit de 17 l/s est équivalent au débit de pointe d'environ 1500 habitants.

### **3.3 L'exploitation du réseau**

La complexité des réactions chimiques ou biologiques qui interviennent sur le réseau nécessite d'agir sur la qualité de l'eau produite mais aussi dans l'exploitation du réseau de distribution.

L'expérience montre en effet qu'il n'est possible de maintenir une bonne qualité de l'eau qu'à condition de respecter un certain nombre de consignes d'exploitation des réseaux et de leurs accessoires de robinetterie.

#### **3.3-1 La connaissance du réseau**

Aucune gestion de la qualité sur un réseau ne peut être envisagée sans une connaissance, la plus parfaite possible, de sa structure physique et de son fonctionnement hydraulique.

De façon générale, un réseau maillé, par exemple, permet d'augmenter les capacités de transfert et d'améliorer la sécurité d'approvisionnement mais la maîtrise de son fonctionnement est plus difficile et on s'expose à la création de zones d'équilibre ainsi qu'à une possible inversion des sens de circulation de l'eau (phénomène favorable à la dégradation de la qualité de l'eau).

Une bonne gestion du réseau nécessite l'élaboration et la mise à jour de plans du réseau : plans d'ensemble (échelle 1.25000 ou 1/10000<sup>ème</sup>), plans détaillés sur fonds de plans cadastraux, plans de récolement, carnets de vannage,...

La réalisation de ces documents peut s'effectuer à l'aide de Systèmes d'Informations Géographiques (S.I.G.) qui apporteront une aide précieuse à l'actualisation et à l'exploitation de ces plans.

A partir de ces éléments, la connaissance du fonctionnement du réseau passe obligatoirement par une modélisation hydraulique.

Un certain nombre de logiciels spécifiques est actuellement disponible sur le marché. Ces logiciels permettent grâce à des méthodes de calcul performantes et à leur facilité d'emploi d'élaborer des modèles mathématiques fiables et évolutifs.

L'approche méthodologique de la modélisation est bien connue mais nécessite une réalisation rigoureuse en particulier pour les mesures de terrain et la validation du modèle.

En plus de la modélisation purement hydraulique du réseau, on peut noter que certains logiciels proposent actuellement des modules qualité qui permettent de calculer les temps de séjour de l'eau et de simuler l'évolution de certains paramètres liés à la qualité de l'eau.

#### **3.3-2 Les purges sur le réseau**

Le temps de séjour de l'eau dans un réseau est un des paramètres majeurs à prendre en compte pour maintenir la qualité de l'eau. Lors de la conception d'un réseau, il est important d'éviter de créer des tronçons où l'eau circule à une vitesse trop faible.

Cependant, malgré une étude soignée du dimensionnement, on peut observer sur beaucoup de réseaux la présence de zones stagnantes. Il s'agit, en réalité, d'une conséquence liée d'une part à la configuration du réseau (antennes isolées dans les réseaux ramifiés ou non, zones d'équilibre, poches hydrauliques) et d'autre part à la modification des rythmes de consommation dans certains secteurs (week-end, vacances scolaires).

Du point de vue de l'exploitation, cette situation implique l'obligation de réaliser périodiquement des purges sur les tronçons concernés, c'est-à-dire de créer artificiellement des consommations en évacuant un certain débit vers les caniveaux, les fossés ou le réseau pluvial,...

En pratique, ces opérations sont généralement réalisées manuellement par la mise en écoulement des exutoires du réseau : (vannes de vidange, décharges, ventouses, poteaux d'incendie, bouches de lavage) aux endroits de faible circulation de l'eau.

La programmation des purges à réaliser doit correspondre aux conditions hydrauliques de fonctionnement du réseau et non pas répondre ponctuellement aux plaintes des consommateurs.

Pour ce faire, une bonne connaissance de la configuration du réseau est indispensable. A ce propos, l'utilisation d'un modèle mathématique permet de calculer le temps de séjour de l'eau en tout point du réseau et donc d'optimiser l'emplacement des points de purge ainsi que le volume d'eau à purger et la fréquence des opérations à réaliser.

Afin de faciliter la mise en oeuvre systématique des purges, la société SETHA a mis au point un Purgeur Automatique Temporisé (PAT.) en collaboration avec le Syndicat des Eaux d'Ile de France exploité par la Compagnie Générale des Eaux. En milieu rural, les purges hydrauliques sont souvent pratiquées notamment sur des bouts de réseaux ramifiés où des conduites en antenne de plusieurs kilomètres ne sont pas si rares (même si il faut les éviter au maximum lors de la conception).

### **3.3-3 Nettoyage et réhabilitation des canalisations**

Les réseaux de distribution possèdent des secteurs particulièrement sensibles à la formation des dépôts. Il peut s'agir de tronçons à faible vitesse, des zones d'équilibre entre plusieurs sources d'alimentation, de zones de distribution dans lesquelles le sens de circulation de l'eau est fluctuant en fonction du soutirage des consommateurs. Ces dépôts rencontrés en réseau résultent essentiellement des phénomènes de corrosion et de précipitation ainsi que des développements bactériens à l'intérieur du réseau.

La mise en place de campagnes systématiques de nettoyage, rénovation ou remplacement de conduites permet d'éviter les risques liés à la remise en suspension de ces dépôts.

La localisation des secteurs prioritaires et la programmation des interventions se réalisent, en première approche, à l'aide de la modélisation du réseau, puis, plus localement d'après les observations du terrain ou par soutirage sur poteaux d'incendie.

Cette dernière méthode d'investigation, mise au point par la société SARP (procédé UMED - Unité Mobile d'Evaluation des Dépôts), est basée sur la réalisation de prélèvements d'eau à fort débit résultant de l'ouverture maximale d'un poteau d'incendie.

A titre d'exemple le Syndicat des Eaux d'Ile de France a défini pour son réseau des critères de décision de nettoyage des conduites au vu des dépôts recueillis par la méthode de soutirage sur poteaux d'incendie, il s'agit des seuils suivants :

- ⇒ MES : 20mg/l
- ⇒ Turbidité : 4 NTU

La réalisation d'un tel diagnostic, grâce à l'utilisation d'un véhicule léger équipé d'une chaîne de mesure complète, permet de définir les zones d'intervention et de guider vers le choix du type de traitement à appliquer : simple nettoyage, réhabilitation voire remplacement de la conduite.

Plusieurs technologies peuvent être utilisées pour le nettoyage des canalisations. Un large éventail est proposé et décrit en Annexe 6.

### **3.3-4 Pratique des arrêts d'eau**

La réalisation d'arrêt d'eau est souvent nécessaire pour intervenir sur le réseau. Il peut s'agir d'opérations programmées (entretien, travaux, ... ) ou d'interventions d'urgence, sur une fuite par exemple. Ces opérations ne doivent en aucun cas permettre à l'eau polluée environnant la conduite de pénétrer à l'intérieur du réseau.

Un certain nombre de consignes est à appliquer pour effectuer cette coupure d'eau :

- 1) Prévenir les services concernés en fonction du degré d'urgence (abonnés, pompiers, collectivité, services de la voirie, administration, ...).
- 2) Afin d'isoler le tronçon, fermer les antennes, les appareils de fontainerie ainsi que toutes les vannes de sectionnement sauf une de façon à laisser la conduite sous faible pression.
- 3) S'assurer de la possibilité de rentrée d'air dans la partie haute du tronçon à vidanger (ventouse, poteau d'incendie ouvert, dépose d'un compteur).
- 4) Réaliser le terrassement au droit de l'intervention, et mise en place d'une pompe d'épuisement.
- 5) Dès que le niveau de l'eau dans la tranchée se maintient en dessous de la génératrice inférieure du tuyau, procéder à la fermeture de la dernière vanne pour isoler le tronçon.
- 6) Vidanger complètement le tronçon et refermer la vidange.  
La vidange complète du tronçon ne doit en aucun cas s'effectuer lorsque la conduite est immergée. L'effet de siphonnage provoquée par l'ouverture de la vanne de vidange entraînerait une aspiration de l'eau polluée contenue dans la tranchée.

Après la réalisation de l'intervention (réparation, entretien, ... ), on procédera aux opérations de nettoyage, rinçage et désinfection comme la réglementation l'impose avant toute remise en service d'une installation. (Cf. chapitre 3, paragraphes 3-4 et 3-5)

### 3.3-5 Nettoyage et désinfection du réseau après intervention (Travaux neufs et réparation)

En application de la réglementation en vigueur, en particulier le Décret 2001-1220 du 20 décembre 2001 article 38 « les réseaux et installations publiques doivent être nettoyés, rincés et désinfectés avant toute mise ou remise en service ». (le décret n°89-3 du 3 janvier 1989 prévoyait déjà cette obligation dans son article 30 issu du décret n°95-363 du 5 avril 1995)

Notons que ce texte prévoit en outre que la personne publique ou privée responsable de la distribution d'eau doit informer le préfet des opérations de désinfection réalisées en cours d'exploitation.

Pour éviter toute contamination du réseau lors de travaux neufs ou de réparations, il est impératif de nettoyer et désinfecter la portion de réseau concerné (voir Annexe 8).

Cette procédure doit répondre à plusieurs objectifs :

- ⇒ éliminer les matières étrangères présentes dans les conduites,
- ⇒ supprimer les risques de contamination bactériologique de l'eau,
- ⇒ éviter les plaintes causées par les travaux de pose ou d'entretien des canalisations (eaux troubles, colorées,...).

Les opérations de nettoyage et de désinfection des canalisations seront mises en oeuvre dans les cas suivants :

- ⇒ **Travaux neufs** : pose de conduites ou d'équipements hydrauliques, réalisation de branchements.
- ⇒ **Intervention planifiée** sur le réseau de distribution : séparation (fuite, ...), renouvellement d'équipements, entretien, rénovation ou réhabilitation de canalisation (Cf. chapitre 3, paragraphe 3-3)
- ⇒ **Intervention d'urgence** sur le réseau de distribution : casse, fuite, incidents divers...
- ⇒ **Contamination locale** détectée à la suite d'analyses non conformes ou de plaintes des consommateurs.

Le Guide Technique publié par le Ministère chargé de la Santé décrit en détail la procédure générale à appliquer pour le nettoyage et la désinfection des conduites. Nous citons en Annexe 7 et ci-après les principales consignes à respecter et quelques cas pratiques identifiés sur le terrain.

### 3.3-6 Nettoyage et désinfection des réservoirs

Dans un réseau de distribution d'eau potable, les réservoirs constituent un maillon privilégié de sédimentation des dépôts et par là-même, une zone à haut risque pour la dégradation de la qualité de l'eau, leur nettoyage doit donc être fréquent. L'article 38 alinéa 2 du Décret 2001-1220 du 20 décembre 2001 (ex article 30 du Décret 89-3 du 3 janvier 1989 modifié par le décret 95-363 du 5 avril 1995) précise que « Les réservoirs équipant les réseaux doivent être vidés, nettoyés et rincés au moins une fois par an. » Cette opération s'accompagne de plus d'une désinfection obligatoire avant toute mise ou remise en service d'installation.

L'objectif de l'intervention annuelle sur les réservoirs est double. D'une part, le nettoyage élimine les dépôts et les incrustations se formant sur les parois et les poteaux en contact

avec l'eau, d'autre part, la vidange des cuves permet une inspection du génie civil et des équipements du réservoir.

### **Nature des dépôts et des incrustations**

La nature des dépôts et des incrustations qui apparaissent sur le radier et les parois des réservoirs dépendent de la qualité de l'eau et en particulier de sa composition chimique, mais aussi des conditions de conception et d'exploitation de l'ouvrage : temps de séjour, éclairage, ventilation, variations du niveau,... (Cf. chapitre 3, paragraphe.2-2)

D'aspect floconneux, spongieux, granuleux ou colloïdal, de couleur brunâtre, rouge-noir ou orangé, ils sont d'origine chimique ou biologique. Ils sont composés de sels tels que carbonates et sulfates de calcium, carbonates et oxydes de fer, manganèse et autres métaux, silicates, ou proviennent de sédiments biologiques (algues, champignons, bactéries agglomérées sur des colloïdes, ... ).

Selon leur nature, les dépôts peuvent troubler ou colorer l'eau, par contre avec des dépôts floconneux l'eau restera limpide. Les concrétions sont un foyer important de prolifération bactérienne, il est donc primordial de les éliminer régulièrement.

### **Procédure**

La procédure décrite ci-après est celle indiquée par le Guide Technique du Ministère de la Santé..

Avant toute intervention, les agents doivent être munis d'un équipement individuel adapté, comportant :

- ⇒ des bottes de sécurité,
- ⇒ une combinaison ou des vêtements de pluie,
- ⇒ un casque,
- ⇒ des gants en caoutchouc,
- ⇒ des lunettes ou un écran de protection.

De plus l'entrée de la cuve sera munie d'un bac destiné à la désinfection des bottes.

### **Différentes phases de nettoyage d'un réservoir**

Celles-ci sont détaillées en Annexe 9.

### **L'exemple du Réseau Parisien**

A Paris, l'analyse sur trois ans des 700 à 800 contrôles effectués chaque année après mise en eau de réseaux neufs ou de réseaux anciens après travaux (type B3 du Décret 89-3 du 3 janvier 1989) montre un nombre non négligeable de désinfections défectueuses. Ceci signifie que la présence d'au moins un germe de contamination fécale a été identifié (ce qui induit une nouvelle désinfection), et que le développement des germes revivifiables a eu lieu (un rinçage complémentaire avec ou sans contrôle est encore nécessaire).

Par ailleurs, le contrôle des branchements et des réseaux intérieurs est effectué et permet de s'assurer de la qualité de l'eau mise à la disposition des usagers mais aussi de limiter les risques de contamination de l'eau du réseau public sous l'effet éventuel de retours d'eau.

Notons que la désinfection au permanganate des installations intérieures est de plus en plus proscrite puisqu'elle risque d'occasionner des dépôts d'oxyde de manganèse et ensuite

d'engendrer des phénomènes de corrosion. Le mélange eau de Javel coloré par du permanganate est plus judicieux.

Sur les installations publiques, malgré la rigueur apportée dans la désinfection par l'exploitant, on constate que l'introduction de germes lors de travaux est inévitable, et qu'une vérification de l'efficacité de la désinfection est bien nécessaire (DURAND - 1996).

### **3.3-7 Consignes diverses à suivre en cours d'exploitation**

En plus des consignes d'exploitation directement liées à l'entretien, au nettoyage et à la désinfection du réseau, on peut citer certains points qui, sans avoir de conséquences directes sur la qualité de l'eau, permettent néanmoins de limiter les risques de contamination tout en améliorant le fonctionnement du service.

#### **Limitation des coupures d'eau**

Comme nous l'avons détaillé au chapitre précédent, la réalisation d'arrêt d'eau sur un réseau génère un certain nombre de contraintes liées au maintien de la qualité de l'eau. Il s'agit essentiellement d'éviter les retours d'eau polluée dans la conduite et d'effectuer les opérations de nettoyage et de désinfection avant la remise en eau. A cela, il convient d'ajouter la gêne des usagers et donc la nécessité de remettre très rapidement en service la canalisation.

Les interventions en charge sur le réseau se réalisent sans arrêt d'eau et permettent donc d'éviter les problèmes causés par l'interruption de la distribution.

Dans la mesure du possible on s'efforcera de privilégier ce type de technique :

- ⇒ réalisation de branchements,
- ⇒ mise en place de dérivations, pose d'un poteau d'incendie, départ d'une antenne,
- ...

Ces opérations se réalisent à l'aide de machines à percer spécifiques. Les petits modèles (diamètre de perçement de 15 à 40 mm) sont manuels, les machines permettant un perçement en gros diamètre (60 à 200 mm) peuvent être équipées d'un moteur (électrique, thermique ou à air comprimé).

Dans le domaine des interventions en charge, la société SETHA propose l'insertion de vannes sur le réseau, sans interruption de la distribution. Il peut s'agir de robinet-vanne à opercule (100 à 400 mm) ou de vanne papillon (jusqu'au diamètre 1800 mm).

#### **La recherche de fuites**

Les défauts d'étanchéité du réseau provoquent, en fonctionnement normal, des pertes d'eau, sources de gaspillage, qui affectent la bonne gestion de la ressource en eau.

De plus, ces faiblesses du réseau peuvent, en cas de baisse de pression (mauvaise conception, rupture de canalisation, débit exceptionnel,... ), permettre une entrée « d'eau sale » par siphonnage.

La recherche et la réparation des fuites permettront non seulement, d'améliorer les performances du réseau en matière de rendement, mais aussi de diminuer les risques de contamination de l'eau.

## **Manœuvres sur le réseau**

On évitera de manœuvrer trop brutalement les organes de sectionnement ou de pompage. La fermeture (ou l'ouverture) brusque d'une vanne, l'arrêt brutal d'un groupe électro-pompe génèrent en effet des perturbations hydrauliques (suppression, dépression, variation de vitesse...).

Ces phénomènes sont susceptibles de créer des désordres mécaniques (fuites, rupture de conduites,... ) mais aussi de remettre en suspension les dépôts ou de décoller le biofilm, entraînant ainsi un risque de contamination.

### **3.3-8 Maintien d'un résiduel de chlore et mise en place de chloration intermédiaire**

La concentration en désinfectant résiduel peut diminuer le long du réseau parce qu'il n'est pas stable et produit des réactions d'oxydation. Cette diminution peut devenir très importante dans des réseaux longs. Une solution consiste alors à disposer en divers points du réseau des stations de rechloration pour « relever » le niveau de chlore résiduel. Ces stations fonctionnent par l'application de l'équation suivante et un résiduel de consigne prédéfini (SCHULHOF - 1990).

$$R_c = R_a + d/Q_e$$

$R_c$  = résiduel de consigne

$R_a$  = résiduel amont

$d$  = débit de chlore à introduire

$Q_e$  = débit d'eau

Ce type de poste existe notamment sur le SEDIF et sur le réseau Lyonnaise des Eaux de région parisienne Sud pour lesquels les réseaux sont effectivement très étendus.

### **3.3-8 Prévention contre les légionelloses**

La Direction Générale de la Santé a publié la circulaire n°98/771 qui a pour objet la prévention des légionellose dans les établissements de santé et dans les bâtiments recevant du public mais aussi la mise en oeuvre de bonnes pratiques d'entretien des réseaux d'eau. Ce texte fait référence à la circulaire n°97/311 publiée par cette même direction en avril 1997 qui renforce la surveillance de la légionellose en France et dont les prescriptions ont été récemment modifiées ou complétées par la circulaire DGS n°2002/243 d'avril 2002. Sont indiquées les grandes lignes d'une méthode de traitement des circuits de distribution d'eau potable contaminés

La présente circulaire indique plus particulièrement les mesures de gestion des risques liées aux systèmes de distribution d'eau chaude, principales responsables des cas de légionelloses..

« Pour limiter le développement des légionelles, il est nécessaire d'agir à trois niveaux :

- éviter la stagnation et assurer une bonne circulation de l'eau ;
- lutter contre l'entartrage et la corrosion par une conception et un entretien adapté à la qualité de l'eau et aux caractéristiques de l'installation ;
- maintenir l'eau à une température élevée dans les installations, depuis la production et tout au long des circuits de distribution et mitiger l'eau au plus près des points d'usage.

Pour être efficaces, les actions préventives doivent être exercées aux étapes suivantes :

- la conception des installations,
- la maintenance et l'entretien,

- la maîtrise de la température de l'eau.

La mise en œuvre de ces actions limite voire supprime la nécessité de réaliser des interventions curatives ponctuelles sur le réseau telles que des chocs chlorés ou des chocs thermiques, lesquelles ne garantissent pas une réduction de la contamination sur le long terme. En outre, de telles mesures peuvent parfois avoir pour conséquences un déséquilibre de la flore microbienne et la dégradation des installations, favorisant ainsi la création de nouveaux gîtes favorables à la prolifération des légionelles ».

### **3.4 La protection sanitaire contre les retours d'eau**

Les pollutions accidentelles du réseau par retour d'eau sont encore très fréquentes. Qu'ils s'agissent d'accidents exceptionnels et très médiatisés ou de contamination microbiologique plus insidieuse, ces événements constituent un risque sanitaire certain pour la santé du consommateur.

La connaissance des risques inhérents à ce phénomène est ancienne, mais la mise en place d'une politique préventive efficace est délicate. A ce sujet, la démarche départementale suivie en Loire Atlantique est exemplaire et confirme qu'une approche incluant à la fois les décideurs, les usagers et les distributeurs est indispensable dans la lutte contre les retours d'eau.

#### **3.4-1 Législation**

Actuellement la législation française relative aux retours d'eau est contenue dans les dispositions du Décret n°2001-1220 du 20 décembre 2001 (dont l'article 39 reprend la formulation de l'article 31 du décret 89-3 du 3 janvier 1989 issu du décret n° 95-363 du 5 avril 1995) pris en application de la loi sur l'eau.

L'article 39 précise notamment :

« les réseaux intérieurs mentionnés au 3° de l'article 29 ne doivent pas pouvoir, du fait des conditions de leur utilisation et notamment à l'occasion de phénomènes de retour d'eau, perturber le fonctionnement du réseau auquel ils sont raccordés ou engendrer une contamination de l'eau distribuée dans les installations privées de distribution. Ces réseaux ne peuvent, sauf dérogation, être alimentés par une eau issue d'une ressource qui n'a pas été autorisée en application de l'article 5".

Ces dispositions sont reprises dans la première partie du Code de la Santé Publique (Mesures Sanitaires Générales).

Un projet d'arrêté ministériel est actuellement en cours d'élaboration. Il vise à mettre en place une politique plus renforcée dans ce domaine. Ce texte précise les conditions de mise en place des dispositifs de protection, les prescriptions techniques applicables à ces dispositifs ainsi que les modalités de vérification d'entretien.

A ce jour, le Guide Technique n°1 publié par le Ministère de la Santé en 1987 sert de référence pour l'application des règles techniques dans le domaine de la protection sanitaire des réseaux de distribution d'eau. (circulaire DGS/PGE/1.D n°593 du 10 avril 1987 relative au guide technique concernant la protection sanitaire des réseaux de distribution d'eau de consommation humaine.)

#### **3.4-2 Les origines hydrauliques**

Les deux causes hydrauliques principales du phénomène de retour d'eau sont d'une part la dépression, avec pour conséquence possible le siphonnage, et d'autre part la contre pression.

### **La dépression**

Il s'agit d'une chute brutale de la pression dans le réseau qui s'accompagne d'un risque potentiel de retour d'eau par inversion du sens d'écoulement.

Les causes principales se situent au niveau du réseau amont à protéger :

- ⇒ arrêt d'eau (travaux, entretien, ... ),
- ⇒ incident (rupture de canalisation, arrêt d'un groupe de pompage),
- ⇒ augmentation importante du débit (ouverture d'un poteau d'incendie, mise en marche d'un surpresseur... ).

Dans le cas de la dépression, le risque est lié au siphonnage possible d'eau contaminée : citerne agricole, bac industriel, circuit de chauffage, baignoire, ...

### **La contre pression**

La contre pression est une augmentation brutale de la pression dans le réseau aval. Elle se traduit par une inversion du sens d'écoulement et donc par des risques de retours d'eaux polluées.

Les causes se situent essentiellement au niveau des installations intérieures :

- ⇒ interconnexion non protégée du réseau public avec une autre source d'eau,
- ⇒ démarrage d'une pompe ou d'un surpresseur,
- ⇒ mise en charge d'un collecteur d'eau usée.

Le résultat de ce phénomène est souvent un mélange d'eau de qualité différente : puits ou forage particulier, eau industrielle,...

## **3.4-3 Les installations à risque**

En matière de retours d'eau, les incidents survenus ces dernières années permettent de constater que les types d'installations mis en cause sont très divers.

On retrouve l'ensemble des utilisateurs d'un réseau d'eau potable : agriculteurs, industriels, artisans, commerçants, usagers domestiques, établissements publics, installations communales...

Citons quelques exemples précis :

- ⇒ viticulteur utilisant des produits pour le traitement de la vigne,
- ⇒ industrie de traitement de surface,
- ⇒ puits privé chez un abonné,
- ⇒ réseau de chauffage collectif,
- ⇒ atelier de décapage utilisant des produits chimiques toxiques,
- ⇒ galerie commerciale (photographe, coiffeur),
- ⇒ hôpital, laboratoire d'analyses médicales,
- ⇒ réseau d'arrosage municipal, station d'épuration, abattoir,
- ⇒ réseau d'incendie armé (R.I.A.).

### 3.4-4 Les appareils de protection

L'approche technique du choix et du lieu d'implantation des dispositifs anti-retour s'appuie sur l'évaluation des risques de contamination de l'eau distribuée.

La réglementation définit trois types de réseaux en fonction des usages de l'eau :

- ⇒ réseau à usages sanitaires et alimentaires,
- ⇒ réseau à usages techniques tels que le chauffage, la climatisation, l'arrosage ou les usages de loisirs,
- ⇒ réseau à usages professionnels : industriels, agricoles, hospitaliers, laboratoires, protection incendie,...

Les appareils doivent ensuite être choisis en fonction de la nature des fluides susceptibles de contaminer l'eau potable, ainsi que des caractéristiques techniques et du mode de fonctionnement de l'installation.

Les critères de choix ainsi que les différents types de matériel sont décrits dans le Guide Technique n° 1 du Ministère de la Santé.

Le Tableau 10 énumère les principaux dispositifs de protection et leur symbolisation. De façon générale, on peut noter que :

- ⇒ les appareils doivent être normalisés NF antipollution,
- ⇒ la présence d'un clapet anti-retour (type EA) sur tous les branchements constitue la protection sanitaire minimale,
- ⇒ les équipements de protection doivent être installés en respectant les conditions de pose et faire l'objet d'un entretien régulier (certains matériels nécessitent du personnel habilité comme par exemple les disconnecteurs).

Signalons l'existence récente de la vanne POLLUSTOP 3+ qui permet de choisir l'alimentation publique et privée.

En cas de surpression aval ou de dépression amont une chambre matérialisée entre les deux clapets isole les deux réseaux, l'eau ne pouvant par ailleurs passer que dans un seul sens.

Les conditions de pose de cette vanne sont strictement définies et une fiche de contrôle annuelle est exigée sur le plan administratif (MAGNIN - 1995).

Depuis peu de temps, la déclaration de l'usage de l'eau est obligatoire, ce qui engage la responsabilité de l'usager.

C'est au vu de cette déclaration que le distributeur préconisera le dispositif anti-retour le mieux adapté à sa situation.

La mise en oeuvre de cette nouvelle politique résout de nombreux problèmes et ne peut qu'accroître la confiance dans la qualité de l'eau distribuée à travers une meilleure prise de conscience du risque.

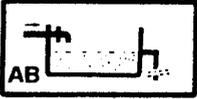
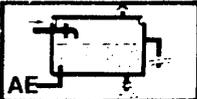
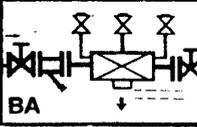
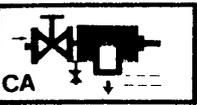
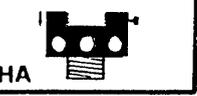
FAMILLE ET TYPE	SYMBOLISATION	OBSERVATIONS ET EXEMPLES D'UTILISATION
<b>Dispositif de surverse totale</b>		Lavabo Ces surverses non protégées ne conviennent pas pour des utilisations sanitaires et/ou alimentaires.
<b>Dispositif de surverse par trop plein</b>		WC avec réservoir de chasse.
<b>Dispositif de surverse sanitaire/alimentaire</b>		Ne peut être mis en oeuvre que si les contrôles prévus par le Règlement Sanitaire Départemental sont effectués.
<b>Disconnecteur à zone de pression réduite Contrôlable NF Antipollution</b>		Doit être utilisé dans la limite de ses capacités de décharge en cas de débit de retour. Une vérification est effectuée au moins une fois par an par un personnel habilité. Aucune utilisation à des fins alimentaires/sanitaires ne doit exister à leur aval.
<b>Disconnecteur à zone de pression différente Contrôlable NF Antipollution</b>		Dispositif de chauffage type familial avec vase d'expansion fermé sous pression.
<b>Clapet de non retour Classe A Contrôlable NF Antipollution</b>		Branchement sur le réseau public
<b>Soupape anti-vide - d'équerre - droite</b>		Flexible de douche
<b>Disconnecteur d'extrémité</b>		Robinet de cour
<b>Vanne à 3 voies à disconnexion atmosphérique</b>		Liaison entre une ressource privée (forage, puits) et le réseau public

Tableau 10 : Principaux dispositifs de protection et symbolisation

## **4 - L'analyse du risque dans la distribution d'eau potable**

### **4.1 Le suivi de la qualité de l'eau dans les réseaux**

#### **4.1-1 La réglementation**

En matière de suivi de la qualité de l'eau dans les réseaux, les obligations sont mentionnées dans le Décret n°2001-1220 du 20 décembre 2001 aux articles 11 à 18.

le Code de la Santé Publique contient aussi des dispositions allant dans ce sens (Première partie -Livre 3 - Titre 1<sup>er</sup> Disposition Générales )

Les opérations de contrôle imposées aux exploitants sont de deux types : un contrôle réglementaire et une auto-surveillance.

#### **Contrôle réglementaire**

L'article 11 du décret 2001-1220 (équivalent de l'article 8 du décret 89-3) précise que « la vérification de la qualité de l'eau est assurée, conformément au programme d'analyse d'échantillons défini à l'annexe 2 du présent décret » (voir Tableau 11 ci-contre).

Les prélèvements d'échantillons d'eau destinés à ce contrôle sanitaire sont réalisés par des agents de l'état et les analyses effectuées par des laboratoires agréés désignés par la DDASS (article 14 du décret n°2001-1220 ).

Les frais de prélèvement sont à la charge de l'exploitant. Les tarifs et modalités en sont fixés par l'arrêté interministériel du 21 décembre 1992 (J.O. du 5Janvier 1993).

Les lieux de prélèvement sont déterminés par un arrêté du Préfet.

Le décret 2001-1220 du 20 décembre 2001 prévoit que des analyses soient réalisées sur des échantillons d'eau prélevés non seulement au point de mise en distribution (analyse de type P1) mais aussi au point de consommation c'est à dire au robinet du consommateur (analyse de type D1)

Le tableau ci dessous rappelle les paramètres qui doivent être étudiés dans le cadre des analyses de routines effectuées sur les échantillons d'eau prélevés aux points de distribution et aux points de consommation.

**Paramètres communs aux analyses de type P1\* et D1\*\***

Escherichia coli ; Entérocoques ; Bactéries sulfite-réductrices y compris les spores (si les eaux subissent un traitement de filtration) ; Coliformes totaux ; Numération de germes aérobies revivifiables à 22°C et 37°C ;  
Température ; Odeur ; Saveur ; Couleur ; Turbidité ; Chlore libre et total (ou tout autre paramètre représentatif du traitement de désinfection) ; Ammonium ; pH ; Conductivité

<b>Paramètres spécifiques aux analyses P1*</b>	<b>Paramètres spécifiques aux analyses D1**</b>
Nitrates Nitrites Sulfates Oxydabilité KmnO4 à chaud, en milieu acide ou COT  Manganèse (si traitement de démantation)  Chlorures (1) TAC (1) TH (1)	Nitrates (si plusieurs ressources en eaux au niveau de l'unité de distribution dont une au moins délivre une eau dont la concentration en nitrates est supérieure à 50 mg/l)  Aluminium (lorsqu'il est utilisé comme agent de floculation)  Fer total (lorsqu'il est utilisé comme agent de floculation et pour les eaux déferrisées)

P1 = programme d'analyse de routine effectué au point de mise en distribution.

D1 = programme d'analyse de routine effectué aux robinets qui sont normalement utilisés pour la consommation humaine.

Tableau 11 A : Analyses de routine à effectuer sur les échantillons d'eau prélevés aux points de distribution et de consommation.

Le contrôle à la production et en distribution (au robinet) dépend de la population desservie et du débit journalier.

Le tableau ci-dessous présente les fréquences annuelles des contrôles de routine aux points de distribution et de consommation en fonction de la population desservie et du débit journalier.

Population desservie	Débit m3/j	Types et fréquences d'analyses	
		P1	D1**
0 à 50 habitants	0-10	1	Entre 2 et 4
50 à 499 habitants	10-99	2	Entre 3 et 4
500 à 1 999 habitants	100-399	2	6
2 000 à 4 999 habitants	400-999	3	9
5 000 à 14 999 habitants	1 000-2 999	5	12
15 000 à 29 999 habitants	3 000-5 999	6	25
30 000 à 99 999 habitants	6 000-19 999	12	61
100 000 à 149 999 habitants	20 000-29 999	24	150
150 000 à 199 999 habitants	30 000-39 999	36	210
200 000 à 299 999 habitants	40 000-59 999	48	270
300 000 à 499 999 habitants	60 000-99 999	72	390
500 000 à 625 000 habitants	1000 000-125 000	100	630
> 625 000 habitants	> 125 000	144	800**

\* Pour les populations supérieures à 500 habitants, le nombre d'analyses à effectuer est obtenu par interpolation linéaire entre les chiffres fixés dans la colonne D1 (le chiffre étant arrondi à la valeur entière la plus proche). Le chiffre inscrit dans la colonne D1 correspond à la borne inférieure de chaque classe de débit.

\*\* Pour cette catégorie, une analyse supplémentaire doit être réalisée par tranche supplémentaire de 25 000 m3/j du volume total

Tableau 11 b : Fréquences annuelles d'échantillonnages et d'analyses de l'eau distribuée.

### **Autosurveillance**

La notion d'autocontrôle est spécifiée à l'article 18-I du décret 2001-1220 du 20 décembre 2001 qui prévoit que « la personne publique ou privée responsable de la distribution d'eau est tenue de surveiller en permanence la qualité des eaux destinées à la consommation humaine » (le décret 89-3 du 3 janvier 1983 prévoyait une disposition similaire dans son article 14).

Cette mesure implique la mise en oeuvre par l'exploitant d'un dispositif continu de suivi de la qualité de l'eau. Il est de plus spécifié que « La personne publique ou privée responsable de la distribution d'eau tient à la disposition du préfet les résultats de la surveillance de la qualité des eaux ainsi que toute information en relation avec cette qualité. Elle porte à la connaissance du préfet tout incident pouvant avoir des conséquences pour la santé publique. » (article 18-III du décret 2001-1220)

En complément de ces dispositions, l'article L. 1321-9 du code de la santé publique (ex article 13-III de la loi sur l'eau de janvier 1992) prévoit que « les données sur la qualité de l'eau destinée à l'alimentation humaine et, notamment les résultats des analyses réalisées dans le cadre du contrôle sanitaire et les analyses réalisées chez les particuliers sont publiques et communicables aux tiers », il revient donc aux préfets de communiquer ces résultats et aux maires de les afficher. (Cf. Annexe 5 sur les commentaires juridiques relatifs à la qualité de l'eau en réseau).

### **De nouveaux indicateurs demain ?**

La question de la validité des indicateurs de qualité microbiologique des eaux est posée désormais par les meilleurs spécialistes (Colloque SAGEP/CRECEP - 1996).

Si la notion d'indicateur de contamination fécale reste toujours pertinente pour apprécier le risque d'infection par des maladies d'origine fécale, en revanche, il s'avère que le traitement de l'eau peut livrer à la consommation une eau conforme aux normes mais contenant encore des pathogènes plus résistants. L'épidémie de juin 1993 à Milwaukee-USA avec 40 000 cas de gastro-entérites à cryptosporidium le montre bien alors que l'eau distribuée était conforme.

On s'est aussi aperçu que plusieurs pathogènes étaient ainsi plus résistants (Giardia, virus...), ou pouvaient même être d'origine non fécale (Aeromonas, Pseudomonas, ...).

Le devenir des microorganismes dans les milieux naturels met en évidence des divergences du même type.

L'utilisation de « nouveaux » indicateurs pour caractériser l'efficacité du traitement mais aussi la qualité de l'eau en distribution est préconisée avec, par exemple, pour ce dernier cas la numération de la flore revivifiable à 20° C, la numération en épifluorescence, ou le rapport bactéries en épifluorescence sur colonies viables dans le réseau.

C'est cette approche que l'on retrouve dans le décret 2001-1220 du 20 décembre 2001 (voir l'annexe I-2.1 relative « aux paramètres indicateurs de qualité témoins du fonctionnement des installations de production et de distribution d'eau »).

S'agissant des paramètres microbiologiques on notera que le décret 2001-1220 remplace les coliformes thermotolérants par l'Escherichia coli et les streptocoques fécaux par les entérocoques.

### **Les normes ISO 9000** **Modèles d'assurance de la qualité**

Plusieurs distributeurs d'eau se sont engagés sur la voie de la certification ISO 9000 pour rendre l'organisation interne de leurs services plus rigoureuse et plus formalisée. Cette norme est en effet un bon modèle d'organisation de la qualité au sens de la satisfaction des besoins des clients. (En pratique c'est la norme ISO 9002 qui est retenue pour les producteurs et distributeurs d'eau).

Les exigences fondamentales que cette norme impose, s'appliquent à une très large proportion des activités du service dont la gestion et l'entretien du réseau de distribution, les contrôles et analyses de l'eau à tous les stades.

Nul doute que cette démarche qualité connue par les professionnels de l'eau ne manquera pas de faire encore progresser les méthodes mais aussi les moyens mis en œuvre pour atteindre une fiabilité maximale sur la qualité de l'eau distribuée (GODFROY et MARTIN - 1996).

## 4.1-2 Stratégie d'échantillonnage

Les modalités pratiques de mise en place des programmes de vérification de la qualité des eaux distribuées sont précisées dans la Circulaire du 15 mars 1991 (MONTIEL et WELTE - 1995).

Il y est en particulier mentionné (chapitre 4.1 ) que :

- ⇒ « Les lieux de prélèvements choisis sur les unités de distribution peuvent être permanents ou non :
  - └ les mesures réalisées sur un site permanent (exemple : réservoir de mise sous pression) permettent d'apprécier l'évolution de la qualité au cours du temps,
  - └ les mesures réalisées le même jour sur plusieurs sites, permanents ou non, permettent d'évaluer la qualité de l'eau pour l'ensemble de l'unité de distribution concernée.
- ⇒ Les lieux retenus pour l'échantillonnage doivent être représentatifs de la qualité de l'eau et du réseau public (ou privé). »

Compte tenu de la complexité des phénomènes hydrauliques, chimiques et biologiques qui interviennent sur le réseau dans l'évolution de la qualité de l'eau, le choix des points de prélèvements s'appuie bien souvent sur la connaissance pratique du système de distribution ainsi que sur les acquis de l'expérience.

Cependant, on recherche généralement une répartition géographique homogène de l'échantillonnage en s'appuyant sur les renseignements complémentaires disponibles : débit, pression, zone à vitesse d'écoulement lente, secteur sensible à la corrosion.

La modélisation des réseaux tant du point de vue hydraulique que de la qualité de l'eau peut s'avérer une aide précieuse pour approfondir la connaissance de leur fonctionnement hydraulique et donc affirmer le choix des points de prélèvements. De même, l'analyse des plaintes des consommateurs pour goût et odeur peut constituer un complément d'information à ne pas négliger.

En fonction de la taille des réseaux, on rencontre actuellement deux types d'approches.

### Les réseaux ruraux

Il s'agit essentiellement de réseaux ramifiés à structure relativement simple et la définition des points de prélèvement y est assez aisée. Outre les points représentatifs de la qualité de l'eau en sortie des stations de production, on privilégiera la prise d'échantillons au niveau des réservoirs de stockage, au centre des villages et dans les conduites secondaires en particulier sur les antennes les plus éloignées.

En plus du contrôle sanitaire réglementaire, les exploitants mettent souvent en place des programmes d'analyse complémentaires en fonction de leur connaissance des risques de dégradation de la qualité liés au réseau.

A ce sujet, on peut citer l'expérience réalisée par la SAUR sur un réseau rural de 13000 habitants avec l'utilisation d'un logiciel destiné à définir un programme annuel d'analyses pour la surveillance complémentaire du réseau. Cette stratégie a permis de détecter un certain nombre de problèmes que le contrôle réglementaire n'avait pas mis à jour (KERNEIS et al. - 1993).

Pour les petites unités que constituent les réseaux ruraux, une optimisation du rapport entre « les enseignements tirés du contrôle et le coût spécifique rapporté au m<sup>3</sup> » est donc essentielle afin d'éviter un alourdissement non justifié du contrôle,

### **Les réseaux étendus**

Pour les grands réseaux de distribution, la problématique est plus délicate. En plus de l'aide apportée par certains logiciels de modélisation, le choix d'une campagne d'échantillonnage sur les grands réseaux peut être facilité par l'utilisation de techniques statistiques.

Certaines expériences ont été menées, on peut citer l'expérimentation réalisée en 1978 en liaison avec la DDASS d'Ille-et-Vilaine, ou encore celle conduite en 1986 à l'initiation de la DRASS du Nord-Pas-de-Calais.

La mise en oeuvre de ces techniques est relativement lourde. Elle conduit le plus souvent à réaliser préalablement 5 à 6 campagnes de prélèvements (à raison de 1 point pour 20 ha) pour les études prospectives d'établissement de lieux optima de prélèvement (cité par SAOUT -1995).

A titre d'exemple, on peut indiquer sommairement les règles retenues en région parisienne pour créer un réseau de contrôle de la qualité de l'eau. Pour les trois réseaux considérés (SEDIF, Paris et Presqu'île de Gennevilliers) les autorités sanitaires ont défini, en collaboration avec les exploitants et le laboratoire un certain nombre de points fixes et de points mobiles de prélèvement :

Réseaux	Points fixes	Points mobiles	Total
SEDIF	237	1310	1547
PARIS	107	800	907
Presqu'île de Gennevilliers	-	107	107

**Les points fixes** sont représentatifs de la qualité de l'eau circulant dans le réseau public et **les points mobiles** de celle mise à disposition des consommateurs dans les lieux d'habitats.

Le choix des points s'appuie sur des considérations techniques de façon à obtenir une bonne représentativité du réseau mais aussi sur des critères liés à l'Inaccessibilité des sites. L'Annexe 11 présente par exemple de façon plus précise encore les règles établies sur les réseaux de Paris et de la banlieue de Paris.

#### **4.1-3 Les mesures en continu**

Parallèlement aux analyses « manuelles » résultant d'échantillonnages effectués sur le réseau, les analyses en continu seront, aussi bien pour le producteur d'eau potable que pour l'exploitant du réseau, un moyen indirect de garantie de la qualité de l'eau.

Les mesures de turbidité et de l'oxydant résiduel dans le réseau, sont le plus souvent pratiquées. L'analyse automatique de la qualité bactériologique de l'eau est aussi envisagée grâce à certains prototypes mis au point récemment.

La mesure de turbidité en continu est surtout utilisée en sortie de station de traitement d'eau potable, car comme nous l'avons signalé, c'est un indicateur global de qualité, qui, couplé à la mesure de l'oxydant résiduel, permet de garantir une bonne désinfection.

Les turbidimètres permettant un suivi automatique de ce paramètre sont aujourd'hui couramment rencontrés et de marques diverses de bonne qualité.

Lorsque des procédés de traitement membranaires sont mis en oeuvre, ce sont des compteurs de particules qui devront contrôler la fiabilité du traitement puisque les membranes sont censées être une barrière infranchissable pour les matières en suspension et pour les grosses molécules.

La mesure en continu du chlore, sur le réseau cette fois-ci, donne une bonne sécurité de qualité par rapport à l'analyse bactériologique ponctuelle, qui fournit un résultat après 48 H.

C'est « un véritable stéthoscope » pour contrôler à tout instant « le réacteur réseau ». En effet, la concentration en chlore dans le réseau peut diminuer pendant le transport dans les canalisations à la suite des nombreuses réactions possibles entre le chlore et les matières réductrices présentes dans l'eau (matières organiques en provenance du biofilm par exemple).

L'installation de capteurs mesurant le chlore libre en particulier constitue un système d'assurance qualité relativement efficace. Il faut pour cela que les capteurs soient régulièrement entretenus et fiables, donc placés en des points bien représentatifs de la qualité de l'eau distribuée. Le choix de ces points peut être d'ailleurs délicat.

Récemment, une innovation de la SAGEP et de la Lyonnaise des Eaux a débouché sur un microcapteur ampérométrique de faible dimension, de faible coût, sans entretien et facile à réinstaller (Chlorscan - VP - 1996).

Ce capteur a été installé avec succès sur de nombreux sites et sa sensibilité testée avec réussite par rapport aux analyseurs classiques.

Notons aussi que ces analyses de chlore sont parfois utilisées pour assurer le pilotage des postes de rechloration (comme c'est le cas pour la banlieue de Paris équipée de 45 analyseurs en continu).

Lorsque le chlore est absent dans l'eau, le suivi de la qualité bactériologique devient indispensable, et c'est pourquoi le développement d'analyse bactériologique en continu est de mise dans le domaine de la recherche appliquée :

- ⇒ Par conséquent l'analyse bactériologique automatique a ainsi pris son essor dans le domaine de la recherche appliquée et a débouché sur des appareils implantables sur le terrain : le colibert, mis au point pour une détection rapide des germes sur le terrain, est en cours d'automatisation. Il identifie les conformes totaux et *Escherichia coli*. Son principe de base est fondé sur une réaction enzymatique. L'appareil conçu par la CGE sur ce principe, analyse automatiquement l'absence de coliformes et d'*E. Coli* dans les eaux de réseau sur un grand nombre d'échantillons. Le temps de réponse est de 8 heures. Les résultats sont visualisés sous formes de graphes et l'opérateur est ainsi informé durant l'analyse de la qualité de chacun des échantillons en terme de Présence/Absence avec intégration d'une semi-quantification du degré de contamination fort, moyen ou faible initialement présent dans l'échantillon. La centralisation automatique de ces informations peut assurer une visualisation apte à la prise de décision à l'échelle du réseau tout entier. Cet appareil peut également être utilisé pour réaliser un suivi de la qualité bactériologique de l'eau en cours de traitement. (RIGAUD - 1995) - (LEVI - 1996).
- ⇒ Le Colitrack est un automate s'appuyant sur une méthode originale de colimétrie qui utilise le phénomène d'amplification biologique (acidification par *E. Coli* d'un milieu de culture glucose à 44° C).
- ⇒ D'autres prototypes avaient été mis au point dans le courant des années 80 mais sans débouchés sur des applications industrielles.

La surveillance des réseaux par ces nouvelles générations de capteurs permettra aux exploitants d'avoir une vue générale à tout instant de leur système de distribution pour tendre vers l'objectif zéro défaut qui leur est demandé sur le plan de la qualité.

La détection et la localisation des pollutions en réseau deviennent possibles en effet en temps réel par les consommations anormales de chlore libre ou l'identification de germes témoins dans le réseau.

La qualité du service aux consommateurs, du fait de ce contrôle rapproché, s'en trouvera forcément améliorée si les moyens d'action appropriés dans ce cas sont mis en oeuvre.

#### **4.1-4 Analyse de risque dans les ouvrages de transport (aqueducs, feeders) et de stockage (réservoirs).**

Lorsque l'eau potable produite est transférée sur de longues distances jusqu'à des réservoirs situés en tête de réseau, le contrôle de la consommation chlore tout comme d'ailleurs les échantillonnages systématiques pour les analyses de type D (en général les arrivées d'aqueduc par exemple constituent un point de contrôle) sont nécessaires.

Par exemple les eaux produites par la SAGEP et amenées jusqu'aux portes de Paris sont caractérisées par un taux de chlore libre supérieur à 0.5 mg/l, un rapport chlore libre sur chlore total supérieur à 80 % en ce qui concernent les eaux de surface et un taux de chlore total de 0.35 à 0.5 mg/l pour les eaux souterraines (cas des aqueducs).

A l'entrée des réservoirs le contrôle par des analyses de chlore s'effectue pour vérifier les consignes de 0.20 à 0.60 mg/l en chlore total. En deçà, la chloration s'effectue de façon à stocker une eau chlorée qui, malgré un temps de rétention moyen de 27 heures, ne risque pas d'être contaminée. La surveillance des évolutions du chlore libre actif dans les réservoirs est d'ailleurs recommandée lorsque les temps de séjour sont conséquents.

En sortie de réservoirs, l'eau peut être déchlorée comme c'est le cas sur les réservoirs de la ville de Paris.

#### **4.2 La modélisation**

La mise en place d'une politique de maintien de la qualité de l'eau demande une connaissance la plus fine possible du comportement hydraulique du réseau.

Avec les logiciels de modélisation actuellement disponibles sur le marché, les différents intervenants (concepteur, gestionnaire, exploitant) disposent d'outils d'aide à la décision permettant d'optimiser le fonctionnement des installations en améliorant le service rendu aux usagers tant sur le plan quantitatif que qualitatif. Leurs applications à la gestion de l'alimentation en eau sont nombreuses :

- ⇒ diagnostic des insuffisances et anomalies du réseau en localisant les zones à risque pour la dégradation de la qualité,
- ⇒ conception et dimensionnement des canalisations et des ouvrages,
- ⇒ exploitation du réseau (entretien, incidents, défense incendie, ... ),
- ⇒ suivi de la qualité de l'eau,
- ⇒ gestion du réseau en temps réel (associée à un système de Gestion Technique Centralisé).

On distingue deux régimes de modélisation :

- ⇒ **Modélisation en régime statique** : c'est la représentation d'une situation stationnaire pour des conditions définies déterminées et constantes dans le temps.
- ⇒ **Modélisation en régime dynamique** : c'est la représentation dans l'espace et dans le temps du fonctionnement de l'ensemble des éléments du réseau (canalisations, réservoirs, appareils hydrauliques, ... ), avec prise en compte ou non des asservissements.

#### 4.2-1 Le modèle hydraulique

Le modèle hydraulique permet de connaître les paramètres de fonctionnement d'un réseau, en particulier le débit, le sens de circulation, et la perte de charge dans les canalisations ainsi que la pression en chaque point. En régime dynamique, il renseigne également sur le marnage des réservoirs et le mode de fonctionnement des pompes, organes de régulation et des singularités.

Les logiciels ont la possibilité de modéliser tous les appareils rencontrés sur un réseau : réservoirs, clapets, régulateurs, pompes, ... La représentativité d'un modèle dépend de la qualité des informations qui lui sont fournies. La phase préalable de collecte des données est donc essentielle. Un bon modèle requiert, en effet, une excellente connaissance de la structure physique du réseau et de son fonctionnement. Notons que tous les modèles ne permettent pas de prendre en compte les différentes particularités rencontrées sur les réseaux.

La réalisation d'une campagne complète de mesures sur le terrain permet ensuite le calage du modèle et donc sa validation.

Dans la phase de conception d'un réseau, le modèle hydraulique s'avère être un excellent outil d'aide au dimensionnement. Il permet en effet de cerner les paramètres directement liés au maintien de la qualité de l'eau essentiellement le temps de séjour de l'eau dans les canalisations et les ouvrages de stockage.

En phase d'exploitation, on pourra acquérir un certain nombre d'informations permettant de mieux appréhender les phénomènes hydrauliques liés à la dégradation de la qualité de l'eau :

- ⇒ impact des interventions sur le réseau (séparations, maillage, défense incendie, ... ),
- ⇒ localisation des zones de vitesse lente (possibilité de sédimentation) ou rapide (problème d'érosion),
- ⇒ localisation des zones de forte pression et de faible pression,
- ⇒ localisation des conduites avec inversion du sens d'écoulement.

#### 4.2-2 Le modèle qualité

En plus de la modélisation purement hydraulique du réseau, plusieurs logiciels proposent actuellement des modules qualité qui permettent de simuler l'évolution de certains paramètres liés à la qualité de l'eau.

Il est important de noter que la validité des résultats obtenus à l'aide de ces modules dépendra en partie de la fiabilité du modèle hydraulique et donc de la finesse de son calage.

En première approche, ces modules qualité permettent de calculer en tous points du réseau des grandeurs significatives de la qualité de l'eau distribuée :

- ⇒ Le temps de séjour : on peut ainsi repérer les zones de stagnation de l'eau.
- ⇒ La répartition des origines de l'eau : lorsque le réseau est alimenté par plusieurs ressources, on peut déterminer en tout point et en particulier au niveau des réservoirs, le pourcentage de l'eau provenant des différentes origines (en mode statique seulement).

Sur le plan pratique, ces informations peuvent aider à l'optimisation des campagnes de purges et de nettoyage, et à localiser les meilleurs points de surveillance de la qualité de l'eau.

Les modules qualité permettent également de simuler la propagation puis l'évolution de la concentration dans le temps de substances réactives (chlore par exemple) ou conservatives (nitrates par exemple) en fonction des concentrations aux points d'injection du réseau, elles-mêmes pouvant varier dans le temps.

La modélisation de tels phénomènes nécessite une connaissance approfondie des mécanismes chimiques et biochimiques, en estimant leur cinétique de réactions.

Les connaissances dans ces domaines sont encore à approfondir et de nombreuses études sont actuellement en cours. Des travaux réalisés sur le réseau de la Parisienne des Eaux (Rive gauche de Paris) ont par exemple permis de calculer les cinétiques de disparition du chlore libre sur la base de résultats expérimentaux obtenus sur le terrain.

A partir de ces éléments, il devient possible de suivre l'évolution du chlore résiduel dans le réseau et d'optimiser la chloration et le positionnement des postes de rechloration en réseau.

Une telle approche permet également de définir une stratégie d'échantillonnage ou encore de suivre l'évolution de substances indésirables comme les nitrates, les pesticides ou le comportement d'un polluant non destructif. Pour mener à bien un projet d'étude ou de gestion de la qualité de l'eau, il est indispensable de s'appuyer sur un modèle hydraulique calé et sur une campagne de mesures ou de traçage appropriée.

Dans ce domaine, les développements en cours concernent la modélisation d'autres paramètres liés à la qualité de l'eau en réseau : décroissance bactérienne, teneur en COA, ou CODB, consommation d'oxygène dissous, formation des THM, influence de la température, ...

### 4.2-3 Quelques exemples de modèles utilisés

Le modèle Piccolo utilisé par le groupe Lyonnaise des Eaux, réalise des simulations hydrauliques de réseaux complexes en régime permanent comme en régime dynamique. Il permet de définir plusieurs type de consommateurs ; de simuler des automatismes de pompage,... Il visualise les écoulements, les pollutogrammes aux nœuds choisis et décrit entre autre la propagation du chlore résiduel dans le réseau.

Plus récemment un modèle prédictif de la croissance bactérienne dans les réseaux de distribution a été couplé à Piccolo de façon à calculer les numérations en germes viables hétérotrophes en différents nœuds, ainsi que le résiduel de CODB à partir des caractéristiques de l'eau entrant dans le réseau.

Les premiers essais de calage ont montré qu'il était possible de prédire les zones à risque fort de développement, mais aussi la répartition de la flore bactérienne sur un réseau. De son côté, le groupe Générale des Eaux utilise le logiciel SWS (Stoner Workstation Service) de la société américaine Stoner Associates notamment sur des réseaux de grande taille comme ceux de la banlieue de Paris et de l'agglomération de Lyon.

Les modèles des réseaux du SEDIF qui ont été développés avec cet outil sont utilisés aussi bien dans la phase de conception (dimensionnement des nouvelles installations, localisation des stations de rechloration,...) que dans la phase d'exploitation (détermination des stratégies d'exploitation en cas d'arrêt de gros feeder par exemple). Par ailleurs, ces modèles seront bientôt couplés au système de télésurveillance existant (Centre des Mouvements de l'Eau du SEDIF).

La CGE a par ailleurs développé d'autres outils tels que :

- ⇒ Le modèle Aï-Col, modèle statistique donnant une estimation de la contamination de l'eau distribuée par les conformes en prenant là aussi en compte les phénomènes de recroissance bactérienne
- ⇒ Le modèle SANCHO visant à estimer les possibilités de croissance en réseau de la biomasse bactérienne avec leurs conséquences sur la qualité de l'eau distribuée (goûts et odeurs, flore indésirable, ... ) (GATEL - 1996)

Notons que le modèle SWS a aussi été testé sur le réseau madrilène par le canal de Isabel II, en collaboration avec le SEDIF et sur le réseau d'Auvers-sur-Oise.

Sur ce réseau, l'eau produite provient d'une filière de nanofiltration. Le modèle a été ajusté pour décrire de façon continue l'évolution des paramètres physicochimiques.

Constatons au passage que l'eau nanofiltrée a conduit à une diminution de la flore bactérienne tout le long du réseau (Cahier technique FNDAE n° 14), du fait du taux de CODB entrant, quasiment nul.

- ⇒ Le modèle EAUCANIX développé par la CISE propose également un module qualité.

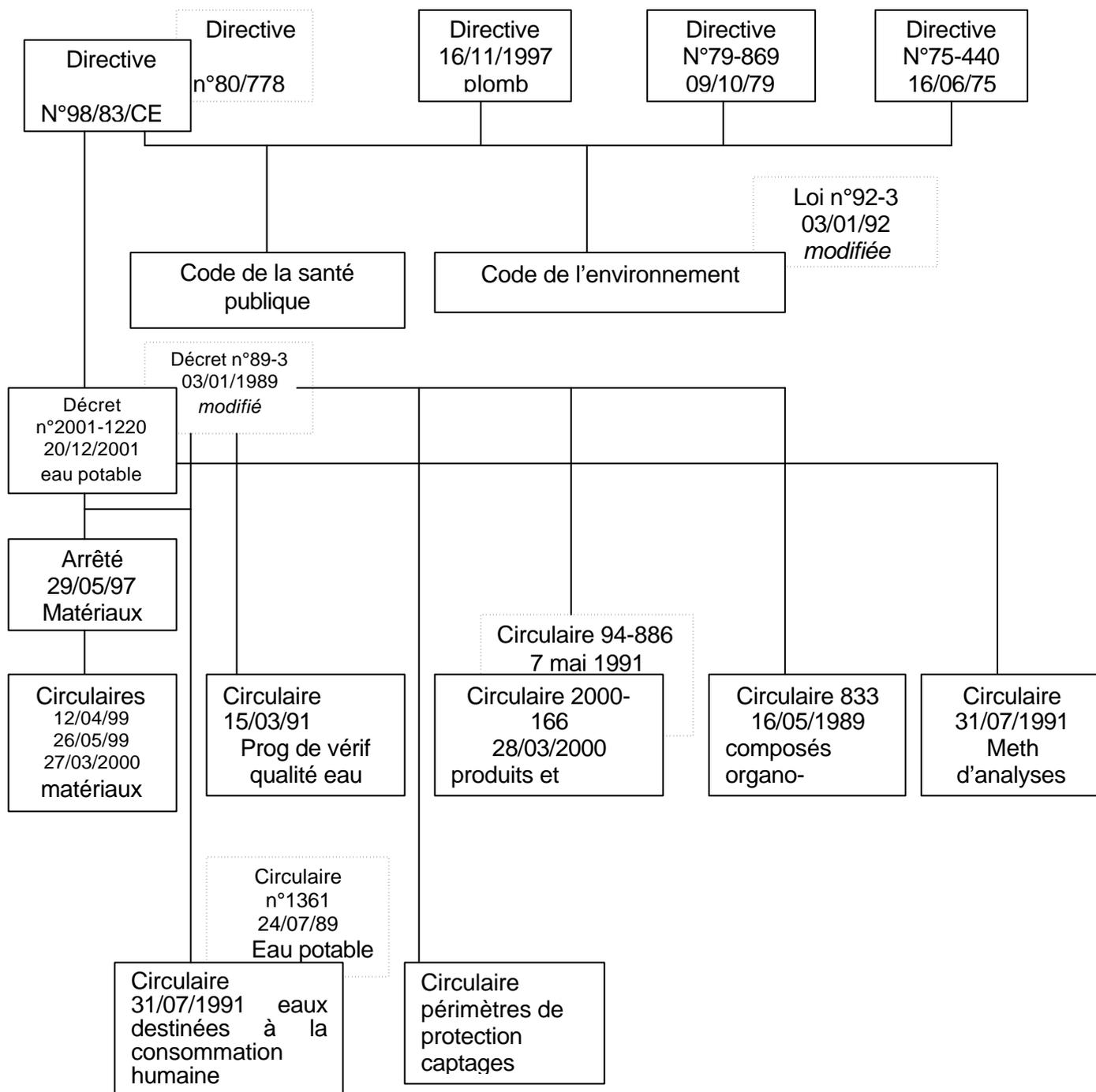
Bien d'autres modèles ont été adaptés à travers le monde pour décrire les temps de séjour au sein d'un réseau maillé, l'évolution du taux de chlore, tels que FFAST (utilisé par la SAUR) (KERNEIS - 1993) et EPANET.

La difficulté majeure pour tous ces systèmes est bien de définir les coefficients relatifs aux caractéristiques de réaction (par exemple chloreazote organique) en fonction de la température, de la nature des tuyaux, du diamètre...

## **ANNEXES**

# ANNEXE 1

## PRINCIPAUX TEXTES RELATIFS AUX EAUX DESTINEES A LA CONSOMMATION HUMAINE



## ANNEXE 2

### CARACTERISATION DE L'ACTIVITE GERMICIDE DES DESINFECTANTS

Au niveau de l'usine de production, l'efficacité germicide des désinfectants est souvent comparée pour un même abattement d'un germe donné et pour des conditions physicochimiques données (T° C, qualité de l'eau), un désinfectant suit le principe du CT à savoir :

$C^n t = \text{constante}$

A C = Concentration en germicide en mg/l

t = temps de contact en minutes

n = caractéristique du désinfectant, fonction du pH

La constante varie suivant le désinfectant caractérisé.

Cette loi fournit en quelque sorte la dose de désinfectant à respecter dans l'eau pour assurer l'élimination de germes donnés, par exemple à 99,99 %.

Néanmoins, il est toujours difficile d'utiliser au sens strict cette loi car il n'existe pas de chambre de contact idéale, in situ, des volumes morts et courts-circuits étant toujours présents.

Des opérations de traçage sont aussi toujours nécessaires pour se rapprocher le plus possible des conditions réelles.

Le tableau 12 présente les facteurs influençant le CT pour différents désinfectants vis-à-vis de Giardia.

La température influe pour sa part sur la diffusion du germicide, sa cinétique d'action et sur l'agrégation des microorganismes ; en règle générale, si la température croît, l'efficacité du désinfectant s'accroît.

Après la chambre de contact, le résiduel de désinfectant peut être ajusté, par exemple dans le cas du chlore par une injection de solution de bisulfite de sodium ou d'anhydride sulfureux, ce qui constitue ensuite dans le réseau le résiduel bactériostatique.

Désinfectant	pH	Température (°C)					
			0.5	5	10	15	20
Chlore libre	6	49	35	26	18	13	9
	7	70	50	37	25	19	12
	8	101	72	54	36	27	18
	9	146	104	78	52	39	26
Ozone	6-9	0.97	0.63	0.48	0.32	0.24	0.16
Dioxyde de chlore	6-9	20	13	10	5	5	3.3
Chloramines	6-9	295	737	675	505	366	260

Tableau 12 : Valeurs de CT pour obtenir un abattement de 90 % des kystes Giardia Lambia

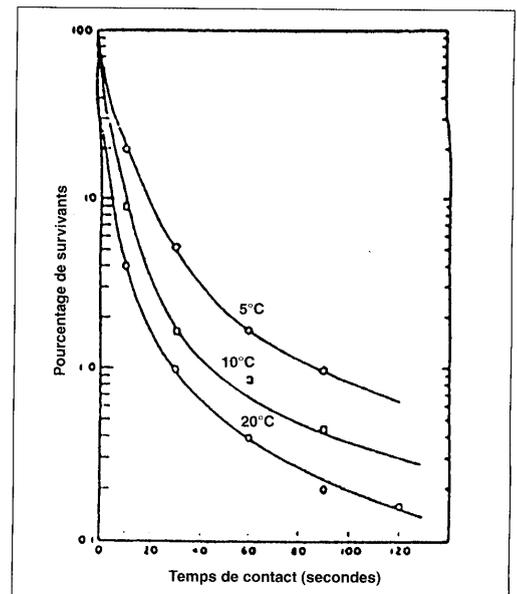


Figure 4 : Effet de la température sur la survivance du poliovirus 1

**ANNEXE 3**  
**MESURE DES EFFETS DES MATERIAUX ORGANIQUES**  
**SUR LA QUALITE DES EAUX DESTINEES**  
**A LA CONSOMMATION HUMAINE**

Méthodes d'essai et critères d'acceptation  
Source = circulaire DGS/VS4/N° 94/9 du 25/01/1994

Sont concernés par ces essais les matériaux organiques utilisés pour la fabrication, la réparation et la réhabilitation des éléments suivants :

- 1) les canalisations (tubes et raccords) des réseaux de distribution extérieurs aux bâtiments ainsi que les joints utilisés pour leur assemblage ;
- 2) les tubes et raccords des installations intérieures de distribution d'eau froide équipant les immeubles ;
- 3) les réservoirs de stockage et de mise sous pression, les surpresseurs, les bâches de rupture et les cuves d'adoucisseur mis en place dans les installations de distribution, publiques ou privées.

Ces essais concernent les matériaux fabriqués en usine et ceux fabriqués et mis en oeuvre in situ et notamment les matériaux plastiques y compris les peintures et revêtements intérieurs, les matériaux bitumineux, les matériaux à base de liants hydrauliques au sein desquels ont été introduits des ajouts ou des adjuvants organiques, les caoutchoucs et les élastomères.

La vérification de la conformité des résultats des essais est réalisée :

- ⇒ en calculant, pour chaque paramètre défini ci-après, la différence entre les résultats des analyses effectuées sur les eaux d'immersion et ceux obtenus sur les eaux témoins selon les normes XP P 41-250-1-2-3.
- ⇒ en comparant cette différence avec l'augmentation maximale acceptable.

**1 - Résultats de l'essai de criblage rapide (selon XP P 41 250-1)**

L'augmentation du seuil de goût doit être inférieure ou égale à 2.

L'augmentation de l'oxydabilité au KMnO<sub>4</sub> (mesurée en milieu acide) doit être inférieure ou égale à 1 mg/l d'O<sub>2</sub>.

L'augmentation de la consommation en chlore doit être inférieure ou égale à 25 %.

Pour les substances suivantes l'augmentation de la concentration doit être inférieure ou égale à :

⇒	Ammonium	0.1 mg/l (NH <sub>4</sub> )
⇒	Nitrite	0.02 mg/l (NO <sub>2</sub> )
⇒	Carbone organique total	1 mg/l (C)

## **2 - Résultats de l'essai de criblage analytique (selon XP P 41 250-2)**

Pour les substances suivantes, l'augmentation de la concentration doit être inférieure ou égale à :

⇒	Carbone organique total	1 mg/l (C)
⇒	Mercure	0.2 ug/l (Hg)
⇒	Cadmium	1 ug/l (Cd)
⇒	Sélénium	2 ug/l (Se)
⇒	Antimoine	2 ug/l (Sb)
⇒	Chrome	10 µg/l(Cr)
⇒	Arsenic	10 µg/l (As)
⇒	Plomb	10 µg/l (Pb)
⇒	Nickel	10 µg/l (Ni)
⇒	Polychlorobiphenyls PCB	0.1 µg/l
⇒	Tétrachlorure de carbone	3 µg/l
⇒	Trichloroéthylène	30 µg/l
⇒	Tétrachloroéthylène	10 µg/l
⇒	Chloroforme	30 µg/l

Pour les hydrocarbures polycycliques aromatiques l'augmentation de la concentration ne doit pas dépasser 0.2 µg/l pour le total des six substances suivantes :

⇒	Fluoranthène
⇒	Benzo (3,4) fluoranthène
⇒	Benzo (11,12) fluoranthène
⇒	Benzo (3,4) pyrène
⇒	Benzo (1,12) pérylène
⇒	Indéno (1,2,3 cd) pyrène

### **Composés volatils (Technique "Purge and Trap")**

Après identification du ou des composés volatils selon la méthode décrite en XP 41-250-2, les résultats sont jugés satisfaisants si la concentration, pour chaque composé détecté, reste inférieure ou égale à 1 microgramme par litre ou inférieure à la limite de détection analytique si celle-ci est supérieure à 1 microgramme par litre.

## **3 - Résultats de l'essai de criblage final**

### **Spectrométrie de masse (selon XP P 41-250-2)**

Après identification en spectrométrie de masse, les résultats sont jugés satisfaisants si la concentration pour chaque composé organique relargué par le matériau reste inférieure ou égale à 1 microgramme par litre, exprimé par rapport à l'étalon interne (n-tétradécane ou n-octadécane) le plus proche.

### **Cytotoxicité (selon XP P 41-250-3)**

Le résultat est jugé satisfaisant lorsque le pourcentage de synthèse d'ARN par rapport au témoin est supérieur ou égal à 70 %.

**ANNEXE 4**  
**COMPATIBILITE DES MATERIAUX AVEC LES EAUX**  
**DESTINEES A LA CONSOMMATION HUMAINE**

(Aspects administratifs)

Source = circulaire DGS/VS4/N° 99/217 du 12 avril 1999 (modifiée par la circulaire DGS/VS4 n°2000/232 du 27 avril 2000)

Cas des matériaux organiques fabriqués à partir de constituants autorisés\*

Lorsque tous les constituants (simples et complexes) sont autorisés au titre de la réglementation concernant les matériaux et objets placés au contact des denrées alimentaires (brochure 1227 du journal officiel), un essai permettant de vérifier que la formulation chimique\*\* permet de fabriquer des matériaux finis compatibles avec les exigences de qualité des eaux destinées à la consommation humaine doit être réalisé. Les laboratoires agréés par le Ministère de la Santé qui sont en mesure de réaliser les essais suivant le protocole approuvé par le conseil supérieur d'hygiène publique de France sont :

CENTRE DE RECHERCHE ET DE CONTROLE DES EAUX DE LA VILLE DE PARIS  
144 et 156, rue Paul Vaillant Couturier  
75014 PARIS  
Tél. : 01 40 84 77 88

LABORATOIRE D'HYGIENE ET DE RECHERCHE EN SANTE PUBLIQUE  
11, bis rue Gabriel Péri, B. P. 288  
54515 VANDOEUVRE Cedex  
Tél. : 03 83 50 36 17

INSTITUT PASTEUR  
Service des Eaux  
1, rue Albert Calmette  
59019 LILLE Tél. : 03 20 87 77 30

L'essai est réalisé sur le matériau fini, à la demande du fabricant du matériau fini ou du responsable de la formulation chimique utilisée pour fabriquer le (ou les) matériau(x) fini(s). Le demandeur doit transmettre au laboratoire une attestation certifiant que les constituants satisfont à la réglementation relative à la fabrication des matériaux et objets placés au contact des denrées alimentaires, Il précise l'appellation technique ou commerciale de sa formulation ainsi que les conditions générales de fabrication du produit fini (à titre confidentiel s'il le juge nécessaire).

Les résultats des essais doivent être conformes aux critères d'acceptabilité définis par le Conseil supérieur d'hygiène publique de France (CSHPF).

Si tous les composés sont conformes aux listes de référence et que les résultats d'essais sont satisfaisants, l'attestation de conformité sanitaire peut être délivrée directement par l'un des trois laboratoires habilités.

Si l'un des composés du matériau ne figure pas dans les listes positives, le dossier est soumis à l'avis du CSHPF qui décide de l'opportunité de faire procéder ou non à la réalisation d'essais de migration.

---

\* *Le cas relatif aux matériaux inorganiques est encore à l'étude*

\*\* *Formulation : constitution et composition du mélange de polymères et des autres constituants utilisés pour la fabrication du matériau fini*

## **ANNEXE 5**

### **COMMENTAIRES JURIDIQUES PARTICULIERS RELATIFS A LA QUALITE DE L'EAU EN RESEAU**

Les commentaires suivants sont extraits, pour leur plus grande part, du « LAMY ENVIRONNEMENT - L'EAU » et portent sur les différents textes évoqués dans le chapitre I ainsi que sur la jurisprudence en rapport. Pour des informations plus pointues, et notamment pour obtenir les références précises des textes, nous invitons le lecteur à se reporter au "LAMY ENVIRONNEMENT - L'EAU\*", ainsi qu'aux textes réglementaires en vigueur, accessibles éventuellement sur JURIEAUDOC (36 17 EAUDOC ou [www.oieau.fr/eaudoc](http://www.oieau.fr/eaudoc)).

#### **POLICE GENERALE DE LA SALUBRITE**

*Pouvoirs du Maire -Sauvegarde de la salubrité :*

D'une manière générale, le maire a vocation à intervenir pour préserver la qualité des eaux destinées à la consommation humaine sur le fondement de l'article L2212-2 du Code général des collectivités territoriales (ex article L 131-2 du Code des communes) qui dispose que la police municipale a pour objet notamment d'assurer la salubrité publique.

*Pouvoirs du Préfet :*

Le Préfet a compétence pour se substituer au maire, selon les modalités prévues à l'article L2215-1 du Code général des collectivités territoriales (ex article L 131-13 du Code des communes), afin de prendre toutes mesures relatives au maintien de la salubrité dans les cas où il n'y aurait pas été pourvu par les autorités municipales.

#### **USAGES DE L'EAU : PRINCIPES**

*Assurance de potabilité :*

Quiconque offre au public de l'eau en vue de l'alimentation humaine, à titre onéreux ou à titre gratuit, est tenu de s'assurer que cette eau est propre à la consommation (article L1321-1 du Code de la santé publique., ancien article. L 19, al. 1<sup>er</sup>)

Tout concessionnaire d'une distribution d'eau potable est tenu de faire vérifier la qualité de l'eau qui fait l'objet de cette distribution. (article L1321-4 du Code de la santé publique, ancien article. L 21, al. 1<sup>er</sup>)

*Exigences de qualité :*

Au lieu de mise à disposition de l'utilisateur, l'eau destinée à la consommation humaine doit satisfaire aux exigences de qualité définies à l'annexe I-1 du décret n° 89-3 du 3 janvier 1989 (JO 4 janvier) modifié, et ne pas présenter de signes de dégradation de sa qualité (D. n° 89-3, 3 janvier 1989, art. 2, al. 1<sup>er</sup>, modifié)

A compter du 25 décembre 2003 les exigences de qualité définies aux annexes I-1 et I-2 du décret n°2001-1220 du 20 décembre 2001 entreront en vigueur. Rappelons que le décret n°2001-1220 prévoit que l'eau destinée à la consommation humaine doit répondre aux normes de qualité qu'il fixe non seulement au point de distribution mais aussi au point de consommation c'est à dire au robinet auquel s'alimente l'utilisateur.

---

\* EDITIONS LAMY ENVIRONNEMENT - L'EAU - 187/189 Quai de Valmy - 75490 PARIS CEDEX 10 Tél. : 01 44.72.12.12

### *Cas de non-respect des exigences de qualité :*

Les références de qualité sont des valeurs indicatives (fixées à l'annexe I-2 du décret 2001-1220). Si elle sont dépassées, l'article 21 donne au préfet le pouvoir de demander à la personne publique ou privée responsable de la distribution d'eau de prendre des mesures correctives s'il estime que la distribution de l'eau présente un risque pour les personnes. Elle doit alors informer le maire et le préfet territorialement compétent de l'application effective des mesures prises.

Le préfet peut en outre demander une restriction voire une suspension de la distribution s'il estime qu'il existe un risque pour la santé des personnes (art.22). L'exercice de ce pouvoir doit être balancé avec les risques que cette mesure ferait courir aux personnes buvant l'eau.

### *Possibilités de dérogations :*

Un important dispositif de dérogation est prévu par le décret du 20 décembre 2001 (article 24) ; il est ne peut toutefois être utilisé que dans des conditions strictes. Ainsi deux conditions préalables doivent être remplies pour pouvoir solliciter une dérogation :

- il faut tout d'abord que l'utilisation de l'eau ne constitue pas un danger potentiel pour la santé humaine ;
- il faut ensuite qu'il n'existe pas d'autres moyens raisonnables pour maintenir la distribution.

Toutefois les dérogations ne peuvent concerner que les limites de qualité de l'annexe I-1 partie B, c'est-à-dire les paramètres chimiques. En aucun cas elles ne peuvent être consenties pour les paramètres microbiologiques.

La dérogation est accordée pour une durée maximale de 3 ans. Elle est renouvelable 1 fois ; exceptionnellement 2 fois. En tout état de cause, la dérogation est aussi limitée dans le temps que possible.

## **PROCEDURES DE CONTROLE DE L'EAU POTABLE**

L'article 1321-1 du Code de la santé publique pose le principe général selon lequel " *Toute personne qui offre au public de l'eau en vue de l'alimentation humaine, à titre onéreux ou à titre gratuit et sous quelque forme que ce soit (...) est tenue de s'assurer que cette eau est propre à la consommation.* "

Le distributeur, qu'il soit public ou privé, est soumis à deux règles générales :

### *Analyses de contrôle :*

La vérification de la qualité de l'eau est assurée dans le cadre d'un programme d'analyse d'échantillons défini à l'annexe II du décret 2001-1220 et qui peut être modifié par le préfet s'il l'estime nécessaire (articles 11 et 12 du décret du 20 décembre 2001).

Le préfet peut également imposer à l'exploitant des analyses complémentaires pour satisfaire aux exigences de qualité ((article 13 du décret 2001-1220)

Les frais de prélèvements sont à la charge de l'exploitant. Les tarifs et les modalités en sont fixés par l'arrêté interministériel du 21 décembre 1992 (JO 5 janvier 1993).

### *Obligation de surveillance par l'exploitant :*

Sans préjudice des vérifications prévues aux articles 11, 12, 13, 14 et 16 la personne publique ou privée qui est responsable de la distribution d'eau est tenue de surveiller en permanence la qualité des eaux destinées à la consommation humaine (« autosurveillance »).

Cette surveillance comprend notamment : un examen régulier des installations ; un programme de tests ou d'analyses effectués sur des points déterminés en fonction des risques identifiés que peuvent présenter les installations ; la tenue d'un fichier sanitaire recueillant l'ensemble des informations collectées à ce titre.

### *Règles d'hygiène relatives à la distribution de l'eau :*

Les règles d'hygiène s'appliquent aux installations publiques ou privées qui servent à la distribution des eaux destinées à la consommation humaine :

- ⇒ les matériaux utilisés dans les systèmes de production ou de distribution, au contact de l'eau destinée à la consommation humaine, ne doivent pas être susceptibles d'altérer la qualité de l'eau. (article 32 du décret 2001-1220 reprenant mot pour mot l'article l'arrêté 89-3)
- ⇒ Tout produit ou traitement utilisé lors de la préparation des eaux destinées à la consommation humaine ne doit pas se retrouver dans les eaux mises à la disposition de l'utilisateur en concentration supérieure aux limites de qualité fixées à l'annexe I-1, ni entraîner un danger potentiel pour la santé publique. (article 32 alinéa 2)
- ⇒ Les installations de distribution d'eau définies à l'article 29 doivent être conçues, réalisées et entretenues de manière à empêcher l'introduction ou l'accumulation de micro-organismes, de parasites ou de substance 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 destinée à la consommation humaine distribuée, telle qu'il ne soit plus satisfait aux exigences fixées à l'article 2.

### *Interdiction des canalisations en plomb :*

La mise en place de canalisation en plomb dans les installations de distribution est interdite à compter du 7 avril 1995 (D. n° 89-3, 3 janvier 1989, JO 4 janvier, complété par D. n° 95-363, 5 avril 1995, art. 28, JO 7 avril, p. 5538)

Le décret n°2001-1220 du 20 décembre 2001 renouvelle cette interdiction dans son article 35.

## **MODELES DE DOCUMENTS DE GESTION**

*Modèle de cahier des charges de concession et portée :*

Depuis la loi n° 82-213 du 2 mars (JO 3 mars, rect. 6 mars), la notion de cahier des charges type a été supprimée et il n'existe plus que des modèles de cahiers des charges, compte tenu du principe de libre administration des collectivités locales. Ces documents ont une valeur indicative.

*Modèle de cahier des charges d'affermage :*

Les cahiers des charges d'affermage constituent des modèles sans valeur réglementaire (17 mars 1980, JONC 20 mars).

Il est néanmoins bon de rappeler l'article 63, qui, dans son alinéa b, stipule :

« L'eau distribuée devra présenter constamment les qualités imposées par la réglementation en vigueur. Le fermier devra vérifier la qualité de l'eau distribuée aussi souvent qu'il sera nécessaire, se conformer à cet égard aux prescriptions du ministère chargé de la santé et donner toute facilité pour l'exercice des contrôles sanitaires, visites, prélèvements et analyses. Il sera toujours responsable des dommages qui pourraient être causés par la mauvaise qualité des eaux, sauf pour lui à exercer les recours de droit commun contre les auteurs de la pollution.

Pour assurer constamment cette qualité, le fermier utilisera en tant que de besoin les installations visées à l'article 56 ainsi que celles réalisées en vertu des articles 25 et 26 susvisés.

Si ces installations devenaient insuffisantes soit en raison de modifications dans la composition chimique, physique ou microbiologique de l'eau, soit au regard des instructions qui interviendraient postérieurement à la date de signature du présent contrat, les travaux complémentaires ou installations nouvelles qui deviendraient nécessaires devront être réalisés dans le plus bref délai. Les travaux sont exécutés sur proposition du fermier comme il est dit au chapitre 5.

En cas d'urgence, ces travaux seront réalisés par le fermier.

A défaut, la collectivité pourra le mettre en demeure, après l'avoir entendu :

- ⇒ soit de réaliser les travaux nécessaires dans un délai fixé ;
- ⇒ soit d'accepter l'utilisation de toutes ressources complémentaires en eau ;
- ⇒ soit, d'une manière générale, de réaliser ou d'accepter toute solution technique permettant de rétablir dans le plus bref délai possible l'alimentation normale en eau présentant les qualités requises.

Lorsque la nécessité de ces mesures techniques ne résultera pas d'une faute du fermier, leurs conséquences financières seront réglées par un accord entre la collectivité et le fermier. Cet accord devra être recherché avant la réalisation des travaux, sauf cas nécessitant une intervention immédiate du fermier. »

L'Association des Maires de France a publié le 21 juin 2001 un guide de l'Affermage du Service de distribution d'eau potable, ce document dans son paragraphe 27.3 relatif à la qualité de l'eau distribuée des dispositions très proches de celles énoncées ci-dessus.

## **CONTROLE DE LA QUALITE DU SERVICE PUBLIC D'EAU POTABLE**

*Rapport annuel du maire :*

Le maire est tenu de présenter au conseil municipal, ou le président de l'établissement public de coopération intercommunale à son assemblée délibérante, un rapport annuel sur le prix et la qualité du service public d'eau potable destiné notamment à l'information des usagers.

Le rapport est présenté au plus tard dans les six mois qui suivent la clôture de l'exercice concerné.

Le rapport et l'avis du conseil municipal ou de l'assemblée délibérante sont mis à la disposition du public dans les conditions prévues à l'article L2224-5 du code général des collectivités territoriales (ancien article L 321-6 du Code des communes).

*Fixation des indicateurs techniques et financiers :*

Les annexes I et II du décret n° 95-635 du 6 mai 1995 (JO 7 mai, p. 7615), relatif aux rapports annuels sur le prix et la qualité des services publics de l'eau potable et de l'assainissement, fixe les indicateurs techniques et financiers devant obligatoirement figurer dans le rapport.

L'arrêté du 21 février 1996 a créé un observatoire de l'eau, comité d'experts dans le domaine de l'eau, qui exercera une fonction générale d'analyse, d'information et d'expertise sur l'évaluation de la qualité des services publics de distribution d'eau au regard des objectifs nationaux et internationaux relatifs aux eaux distribuées entre autres.

*Principe de publicité des données sur la qualité de l'eau destinée à l'alimentation humaine:*

Ces données et notamment les résultats des analyses réalisées dans le cadre du contrôle sanitaire et chez les particuliers sont publiques et communicables aux tiers.

Les préfets sont tenus de communiquer régulièrement aux maires les données relatives à la qualité de l'eau distribuée, en des termes simples et compréhensibles par tous les usagers.

Ces données et toutes les autres mesures approuvées font l'objet d'un affichage en mairie en application de l'article L. 1321-9 du code de la santé publique (ex article 13-III de la loi sur l'eau n° 92-3 du 3 janvier 1992).

*Notion de données relatives à la qualité de l'eau distribuée :*

Ces données comprennent notamment les résultats de l'analyse des prélèvements effectués, leur interprétation sanitaire ainsi que les synthèses commentées sous forme de bilans sanitaires de la situation pour une période déterminée.

*Affichage des données en mairie :*

Dans les deux jours ouvrés suivant leur réception, le maire affiche en mairie l'ensemble des documents que lui transmet le préfet ou seulement la synthèse commentée permettant une bonne compréhension des données.

*Indication de la limite ou de la référence de qualité :*

Chaque bulletin d'analyse effectuée au titre du décret n° 89.3 et les synthèses commentées doivent indiquer, pour chaque paramètre, la limite de qualité ou la référence de qualité.

*Précautions à prendre pour l'information du public :*

Lorsque les résultats des analyses effectuées dans le cadre de la surveillance permanente (« autosurveillance »), sont portés à la connaissance du public, toute disposition doit être prise pour éviter que ces données puissent être confondues avec celles obtenues dans le cadre du programme réglementaire réalisé au titre des articles 8 à 13 du décret 89-3.

### **RESPONSABILITES DU DISTRIBUTEUR D'EAU**

#### *Responsabilité pour mauvais entretien des réseaux :*

Une compagnie fermière peut être reconnue responsable du mauvais entretien du réseau d'eau en raison de l'économie générale du contrat d'affermage qui le met à sa charge. Cette compagnie n'a pas fait preuve, en l'occurrence, de la diligence requise dans l'accomplissement de ses obligations contractuelles, compte tenu des inconvénients constatés - obstruction des canalisations par des concrétions ferriques communiquant à l'eau une forte coloration jaune rouille, pression de l'eau insuffisante, mauvais état général du réseau. (Jurisprudence 1989)

#### *Obligation du vendeur de délivrer une chose conforme :*

Un service public de distribution d'eau à caractère industriel et commercial, possédant ce caractère même lorsqu'il est assuré par une collectivité territoriale, est régi par les règles contractuelles du droit privé dans les rapports qu'il entretient avec ses abonnés. Il est ainsi tenu, en tant que vendeur, de délivrer l'eau conforme à l'usage auquel elle est destinée. (Jurisprudence 1994).

Le service des eaux est donc tenu pour responsable du bon fonctionnement du réseau public et doit s'acquitter des obligations normales inscrites au contrat ou consacrées par l'usage au sens de l'article 1135 du Code Civil. (Jurisprudence 1991).

En livrant une eau non conforme et donc de mauvaise qualité, une société fermière ne respecte pas ses obligations contractuelles alors que les consommateurs sont en droit, en contrepartie du paiement de leurs abonnements et de leur facture d'eau, d'exiger la livraison d'une marchandise conforme aux normes contractuellement prévues. (Jurisprudence 1986).

#### *Obligation de résultat :*

L'engagement contractuel de délivrer de l'eau dont la qualité a été expressément spécifiée au contrat (à savoir sa potabilité impliquant que l'eau soit à la fois propre à la consommation humaine et répondre aux normes réglementaires définies) constitue une obligation de résultat qui s'impose au débiteur de l'obligation et dont il ne peut s'exonérer qu'en justifiant d'une cause étrangère ou fortuite. (Jurisprudence 1994)

L'ampleur, l'ancienneté et la persistance du phénomène de pollution des eaux par les nitrates dans le département considéré lui ôtent tout caractère d'imprévisibilité qui serait susceptible d'exonérer l'exploitant de sa responsabilité.

#### *Responsabilité civile contractuelle des sociétés distributrices d'eau :*

Contractuellement, la responsabilité de l'entretien des canalisations, des raccordements et des branchements particuliers, y compris du compteur, incombe à la société distributrice. (Jurisprudence 1981)

La violation de ses engagements contractuels engage la responsabilité civile de la société de distribution de l'eau dès lors que l'eau ne présente pas constamment les qualités requises

par les textes réglementaires qui doivent être prises en compte au moment de la livraison à l'abonné. (Jurisprudence 1986)

En effet, un abonné est en droit d'exiger que l'eau soit non seulement potable, mais également propre aux divers usages auxquels elle est employée et qui se révèlent incompatibles avec une coloration répugnante due à la présence de dépôts d'oxyde ferrique accumulés anormalement dans les canalisations. (Jurisprudence 1964)

*Refus de branchement au réseau de distribution d'eau ;*

Les candidats usagers n'ont pas un droit général et absolu à obtenir un raccordement. Un syndicat intercommunal peut ainsi refuser le branchement d'un terrain particulier pour un motif tiré de la bonne gestion et de la préservation de la qualité du service d'adduction d'eau.

Toutefois, un tel refus s'apprécie au cas par cas et il n'est pas possible d'opposer le refus à toute une catégorie de demandes.

### **RESPONSABILITES PENALES ET ADMINISTRATIVES**

*Infractions à la conservation des ouvrages :*

La dégradation par négligence ou incurie d'ouvrages publics ou communaux destinés à recevoir ou conduire des eaux d'alimentation, est punie d'une amende de 3000 F. au plus (article L47 du Code de la. santé publique.).

Est passible de la même peine sur le même fondement l'introduction par négligence ou incurie de matières excrémentielles ou de toute autre matière susceptible de nuire à la salubrité, dans l'eau de source, des fontaines, puits, citernes, conduites, aqueducs, réservoirs d'eau servant à l'alimentation publique.

Les mêmes infractions commises volontairement sont punies d'un emprisonnement de 3 ans au plus et d'une amende de 300000 F. au plus (article L47 du Code de la. santé publique.).

*Protection de la potabilité :*

Constituent des infractions à la protection de la potabilité de l'eau :

- ⇒ le captage et la distribution d'eau destinée à l'alimentation humaine par un réseau d'adduction privé, sans l'autorisation préfectorale requise, passible d'un emprisonnement de 1 an maximum et d'une amende pouvant s'élever jusqu'à 30000 F. ou de l'une de ces deux peines seulement (article L1324-3 du Code de la santé publique.);
- ⇒ la distribution d'une eau impropre à la consommation, passible d'un emprisonnement d'1 an et d'une amende pouvant atteindre à 30000 F. ou de l'une de ces deux peines seulement (C. santé publ., art. L 19, et art. L 46) ;
- ⇒ l'absence de vérification de la qualité de l'eau distribuée par un concessionnaire, est passible des même peines (article L1324-3 du Code de la santé publique.).

*Dommages de travaux publics du fait de la distribution (canalisations) :*

Des dommages causés à des propriétés privées du fait de canalisations d'eau potable défectueuses peuvent être constitutifs de dommages de travaux publics. (Jurisprudence 1986 et autres)

*Légitimité d'une demande d'expertise :*

Est légitime la demande présentée par une société de distribution des eaux à un tribunal administratif tendant à la désignation d'experts en vue de rechercher l'origine, les causes et l'importance des altérations que présente l'eau dont elle assure la distribution, eu égard en particulier au danger que peut présenter pour la santé publique la consommation d'une eau comportant des anomalies et à l'urgence d'y remédier. (Jurisprudence 1961).

## **ANNEXE 6**

### **LES METHODES DE NETTOYAGE DES CANALISATIONS**

#### **NETTOYAGE A L'EAU**

##### *Domaine d'application*

Dépôts boueux ou oxydes peu incrustants D < 100mm

##### *Principe*

Accélération de la vitesse de l'eau par ouverture d'un exutoire du réseau

#### **CAS DE L'HYDROCURAGE**

Ce procédé de nettoyage est généralement utilisé en assainissement mais peut également servir au ramonage des conduites d'eau sous pression, grâce à un équipement d'hydrocurage (bude d'hydrocurage et alimentation par tuyaux flexibles)

##### *Domaine d'application*

Elimination de dépôts non ou faiblement incrustés.

##### *Principe*

Le ramonage hydraulique consiste à chasser violemment par projection d'eau sous pression les matières décantées vers un puits de travail aux fins d'extraction.

##### *Observation*

L'hydrocurage se réalise sur un tronçon vidangé, sectionné à ses deux extrémités afin de constituer deux puits de travail.

#### **NETTOYAGE PAR UN MELANGE AIR-EAU**

##### *Domaine d'application*

Matières en suspension ou dépôts facilement décrochables D < 200 mm

##### *Principe*

L'injection d'un mélange d'air (refroidi et filtré) et d'eau génère dans la conduite des phénomènes turbulents importants et permet ainsi le décrochage des dépôts (phénomène piston eau/air/eau).

##### *Observation*

Ce procédé est rapide et ne nécessite aucune désinfection après intervention, si l'on opère avec précaution.

## **NETTOYAGE PAR RACLEURS**

Racleurs rigides

*Domaine d'application*

Enlèvements des dépôts boueux et élimination des pustules de corrosion  $80 \text{ m} < D < 1500 \text{ mm}$

*Principe*

Introduction dans la conduite d'un racleur rigide qui se déplace grâce à la pression de l'eau. Nécessité de mettre en place un équipement de réception et d'introduction du racleur.

*Observation*

Le rinçage est nécessaire après intervention,

La désinfection de la conduite ne s'avère pas indispensable si l'on opère la désinfection du bouchon racleur à l'introduction et si l'on travaille dans des conditions de propretés adéquates.

Racleurs souples

*Domaine d'application*

Simple nettoyage (enlèvements des dépôts sableux ou boueux)

*Principe*

Identique aux racleurs rigides, l'introduction et le retrait du racleur s'effectuent plus simplement à partir d'une bouche ou d'un poteau d'incendie (désinfection préalable du racleur).

*Observation*

Le rinçage est nécessaire après intervention,

L'intervention sur le réseau est moindre qu'avec des racleurs rigides, il est donc beaucoup plus facile de garantir la non-contamination et de s'affranchir avec cette technologie de l'opération de désinfection.

## **NETTOYAGE MECANIQUE**

*Domaine d'application*

Tous types de dépôts et d'incrustations

*Principe*

Tringlage par un outil en acier entraîné en rotation et poussé par une tringle en acier (Procédé COREFIC, Procédé 3R)

Toute opération de nettoyage doit être précédée d'un avis auprès des consommateurs les informant de l'intervention sur le réseau et les invitant de s'abstenir de tout soutirage.

Pour être efficace, le nettoyage des canalisations doit répondre à certaines exigences :

- ⇒ le bon état de la canalisation (intérieur et extérieur)
- ⇒ la recherche d'une solution à la cause du problème, en particulier en cas de corrosion.

Il faut en effet signaler qu'un nettoyage de conduite (racleurs rigides ou curage mécanique) peut engendrer la réapparition du phénomène de coloration de l'eau après un court délai sous une forme encore plus prononcée.

Il convient alors soit de mettre en oeuvre à l'amont un traitement de l'eau adapté (reminéralisation par exemple) soit de protéger la canalisation par un revêtement interne ou une autre technique de réhabilitation.

## **ANNEXE 7**

### **PRECAUTIONS A PRENDRE SUR LE CHANTIER POUR LE NETTOYAGE ET LA DESINFECTION DES CONDUITES**

#### **1 - EVITER L'ENTREE DES CONTAMINANTS**

On s'appliquera en particulier à protéger les extrémités des conduites afin d'empêcher l'introduction de cailloux de terre ou de boues ainsi que l'entrée des animaux (rats). Cette recommandation est applicable aussi bien lors du stockage des matériaux que lors de la pose des canalisations pendant les phases d'arrêt du chantier (mise en place de bouchons aux extrémités libres).

Une attention particulière sera apportée à la mise en place des joints tout spécialement si l'eau peut s'accumuler dans la tranchée. Les lubrifiants utilisés doivent être agréés, conservés proprement et appliqués avec soin.

#### **2 - INTERVENTION SUR UNE FUITE**

En cas de rupture de canalisation, il est important de ne pas mettre la conduite en dépression afin d'éviter toute entrée d'eau souillée dans la conduite (Cf. 3.3.4 sur les arrêts d'eau). Les pièces de réparations doivent être nettoyées à l'aide d'un désinfectant (solution d'eau de Javel ou aérosol)

#### **3 - NETTOYAGE ET RINÇAGE DU TRONÇON**

Cette opération est indispensable afin de réaliser l'étape de désinfection dans les meilleures conditions : on ne désinfecte que ce qui est propre.

Le nettoyage hydraulique à fort débit est la méthode la plus simple à mettre en oeuvre et elle est en général suffisante pour éliminer les matières solides susceptibles d'être présentes dans le réseau.

Le tableau ci-après donne le volume d'eau nécessaire à cette opération pour différents diamètres de canalisation et pour une vitesse de rinçage de 1 m/s.

<b>Diamètre (mm)</b>	<b>Débit (l/s)</b>	<b>Quantité d'eau (Rinçage 1h) (m3)</b>
75	4,4	16
100	8	28
125	12	22
150	17,6	64
250	49	178
400	126	452
800	500	1800
1000	780	280
1500	1760	6400

Dans certains cas particuliers (gros diamètres, canalisations anciennes,...) d'autres techniques peuvent être employées : nettoyage air-eau, utilisation de racleurs, nettoyage mécanique, robots,...

Dans tous les cas un rinçage final sera réalisé. L'efficacité du nettoyage peut être appréciée par une mesure de turbidité : celle-ci ne doit pas excéder de 0.5 NTU celle de l'eau d'alimentation.

#### **4 - DESINFECTION**

La méthode la plus couramment utilisée est l'injection sous pression, d'une solution désinfectante à une extrémité de la portion de réseau à traiter. Tous les appareils de robinetterie, fontainerie doivent être ouverts afin d'être mis en contact avec le désinfectant.

La liste des produits désinfectants autorisés est donnée dans le Guide Technique, le plus fréquemment utilisé actuellement est le chlore sous forme d'hypochlorite de calcium (eau de Javel). Il est impératif de respecter un temps de contact minimum entre le désinfectant et la conduite ; ce temps dépend du produit utilisé et de la dose introduite.

Le tableau ci-après donne, dans le cas du chlore, la concentration à utiliser et le temps de contact à respecter :

<b>Concentration en chlore (ppm)</b>	<b>Temps de contact minimal (heures)</b>
15	24
25	12
50	6
100	3
150	1

Après le temps de contact indiqué, la consommation en chlore ne doit pas être supérieure à 25%.

#### *Mise en garde*

Durant les manipulations de désinfection avec une solution 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 (tuyau d'arrosage branché en permanence par exemple) et de consulter un médecin.

#### **5 - VIDANGE DE LA SOLUTION DESINFECTANTE**

Après vérification de la consommation en désinfectant, la solution désinfectante est évacuée et remplacée par l'eau du réseau.

Si la teneur en désinfectant est importante (supérieure à 0.5 mg/l dans le cas du chlore), la solution vidangée ne doit pas être rejetée directement dans le milieu naturel afin d'éviter tout risque de pollution. Dans ce cas une neutralisation ou une dilution doit être réalisée avant rejet.

#### **6 - CONTROLE DE LA DESINFECTION**

Pour réaliser cette opération, il est recommandé que l'eau ait séjourné plusieurs heures dans la conduite. Un délai de 24 heures est conseillé si les conditions de service le permettent.

Les échantillons en vue d'analyses sont prélevés par du personnel expérimenté en des points représentatifs de la conduite à contrôler tel que appareil de robinetterie ou de fontainerie.

Les analyses sont réalisées par un laboratoire agréé. Elles portent sur la qualité microbiologique mais aussi sur la qualité physico-chimique pour mettre en évidence certains paramètres tels que la turbidité, le fer,...

## 7 - RECOMMANDATIONS

Suite à la prise d'échantillons et à la réalisation d'analyses, plusieurs cas de figures sont envisageables :

- ⇒ **Analyse conforme** : accord pour la mise en service du réseau.
- ⇒ **Demande de réalisation** d'un rinçage complémentaire, en particulier si la turbidité excède de 0.5 NTU celle du réseau existant.
- ⇒ **Contamination bactériologique** : reprise totale ou partielle de la procédure en fonction de l'importance de la contamination.

## 8 - MISE EN SERVICE

Avant la mise en service définitive, il est recommandé de vidanger l'eau du secteur désinfecté en raison de la stagnation de l'eau.

On peut citer les travaux sur des canalisations de très gros ou de très petits diamètres, ou encore les ruptures de canalisations où la nécessité d'une remise en service rapide de la canalisation ne permet pas de respecter les délais.

La réglementation distingue trois catégories de travaux :

- ⇒ **Travaux neufs** : les délais de mise en eau permettent l'application complète de la procédure.
- ⇒ **Travaux programmés** : interventions sur le réseau, réalisation de branchements. Les contraintes liées à la continuité du service ne permettent pas de suivre l'intégralité du protocole. Les procédures de désinfection et de contrôle sont simplifiées, par contre les conditions de travail permettent d'effectuer les opérations en situation non contaminantes.
- ⇒ **Réparations d'urgence en cas de rupture de canalisation** : les conditions de travail étant généralement difficiles, la procédure ne peut être appliquée en totalité. Par contre, compte tenu du risque lié aux risques de contamination, des mesures doivent être prises lors de la remise en service par exemple une surchloration momentanée du réseau ainsi qu'une surveillance bactériologique renforcée du secteur.

*NdR : Il faut bien le reconnaître la réalité des interventions réalisées sur le terrain par les exploitants ne permet pas dans un certain nombre de cas, de suivre strictement les procédures décrites ci-dessus, en particulier le contrôle de la désinfection.*

## 9 - EXEMPLE DE PROCEDURES

Dans le cadre de la Procédure AQUA, le Centre Régional de Lyon de la Compagnie Générale des Eaux met en oeuvre un certain nombre de procédures relatives aux interventions sur le réseau.

- ⇒ **Les arrêts d'eau** : consignes pour éviter les risques de retour d'eau

- ⇒ **Désinfection des conduites neuves** : procédure de mise en eau des conduites neuves après nettoyage et désinfection (similaire au protocole décrit précédemment)
- ⇒ **Désinfection des réseaux ou branchements existants suite à intervention** procédure simplifiée de désinfection.

### **SYNDICAT DES EAUX D'ILE DE FRANCE (SEDIF)**

Contrôle systématique des désinfections des conduites neuves de diamètres supérieurs à 400mm et sur les conduites de plus petites sections dont le volume du tronçon mis en service est au moins égal à 6 m<sup>3</sup>.

### **RESEAU PARISIEN**

Contrôle systématique sur toutes les conduites neuves avant leur mise en service et sur les autres conduites après travaux.

## **ANNEXE 8**

### **EXEMPLES DE MATERIEL DE DESINFECTATION DES CANALISATIONS**

Les opérations de désinfection des conduites peuvent être facilitées par l'utilisation d'ensembles mobiles équipés du nécessaire pour la préparation et l'injection de la solution désinfectante.

#### **1 - ENSEMBLE AUTONOME DE DESINFECTATION (Figure 4)**

(fonctionnement sans énergie électrique)

Ce type d'appareil, mis en place à l'amont de la canalisation à désinfecter, permet grâce à un hydroéjecteur ou à une pompe doseuse proportionnelle, d'introduire une solution désinfectante dont le débit et la concentration sont connus.

Le débit d'eau motrice de ces appareils est limité à quelques m<sup>3</sup>/h Citons :

- ⇒ EAUDE CIFEC
- ⇒ Poste mobile de dosage de HERLI.

#### **2 - UNITE MOBILE DE DOSAGE DE DESINFECTANTS (Figure 5)**

Installés selon le même principe que précédemment, ces appareils équipés d'une pompe doseuse et d'un compteur d'eau à tête émettrice, permettent un dosage de la solution désinfectante par réglage proportionnel au volume.

Ce type de matériel permet de travailler à des débits de plusieurs dizaines de m<sup>3</sup>/h, mais nécessite une alimentation électrique (secteur ou groupe électrogène).

On peut citer :

- ⇒ Herlimat Des de HERLI
- ⇒ Carla Injektor de CARELA

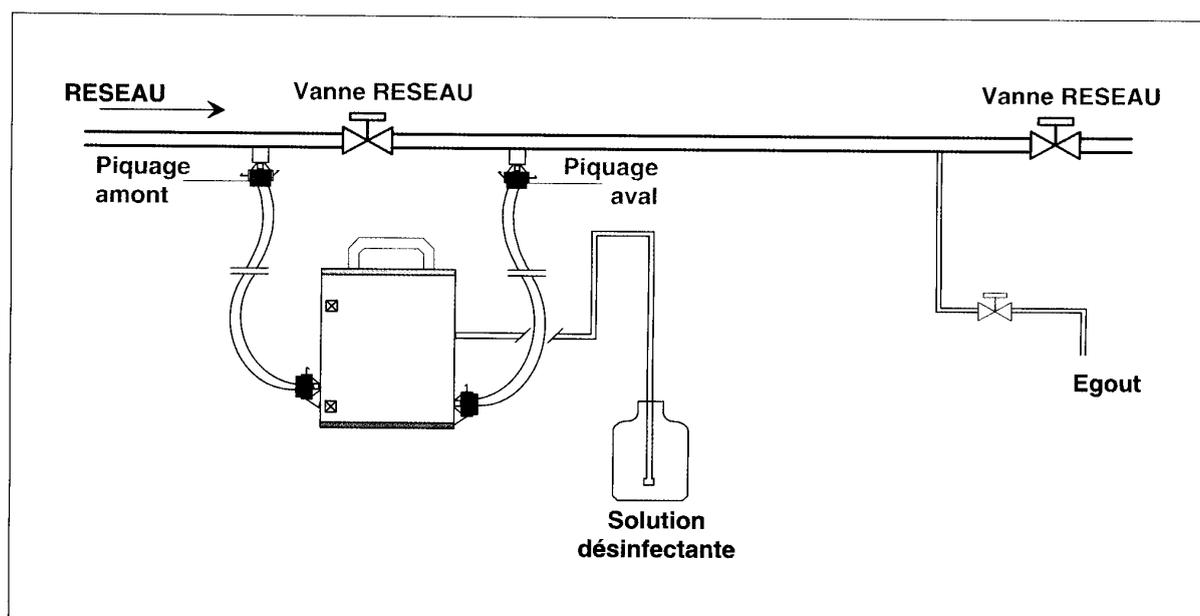


Figure 5 : ensemble autonome de désinfection – Principe d'installation

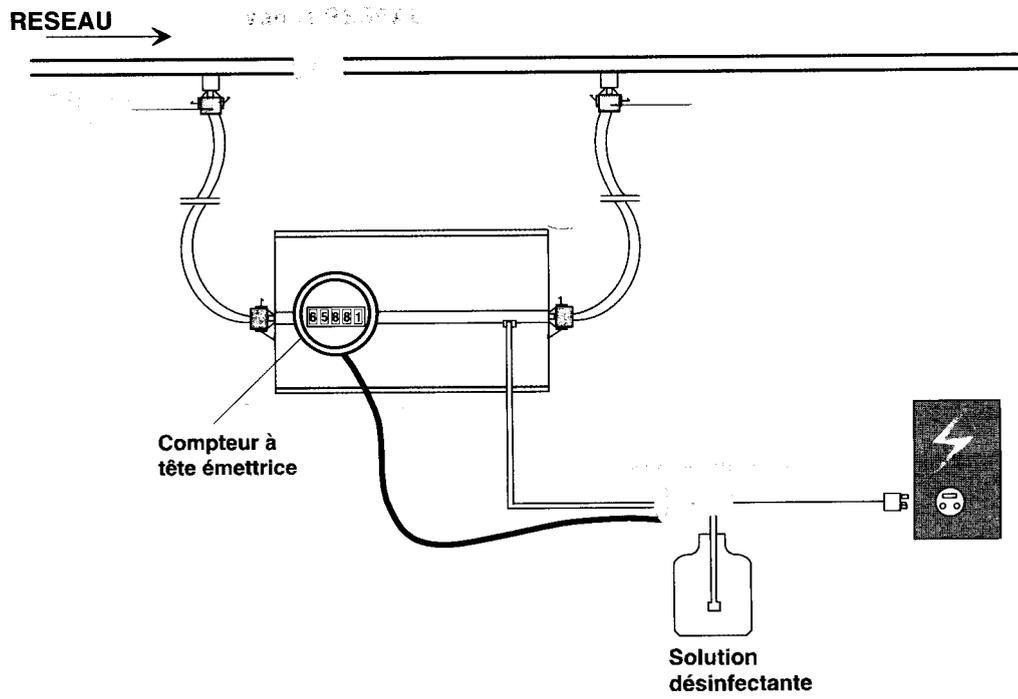


Figure 6 : Unité mobile de dosage de désinfectants avec compteur à tête émettrice

## **ANNEXE 9**

### **PHASES DE NETTOYAGE D'UN RESERVOIR**

#### **1 - ISOLEMENT ET VIDANGE DE LA CUVE**

#### **2 - NETTOYAGE DES DEPOTS SUR LE RADIER, LES PAROIS ET LES ACCESSOIRES**

Le nettoyage du radier s'effectue par brossage, avec évacuation des boues et des sables par la vidange du réservoir.

Les tuyauteries et les accessoires (échelles, crinolines, équipements hydrauliques) sont nettoyés et grattés si nécessaire.

La coupole, les voûtes et les plafonds sont rincés au jet d'eau afin d'éliminer les eaux de condensation susceptibles d'être porteuses de germes.

Pour élimination des incrustations sur les parois, le nettoyage peut-être :

- ⇒ **mécanique** : brossage et raclage manuel à l'aide d'une lance télescopique ou par projection d'eau sous pression (utilisation d'une motopompe);  
Ce procédé est long et parfois insuffisant en présence de certains types d'incrustation calcaire, oxydes de fer ou de manganèse,....
- ⇒ **chimique** : il existe actuellement des produits chimiques (produits acides) permettant le nettoyage des réservoirs. La liste des produits agréés par le Ministère de la Santé est donnée en annexe du Guide Technique (non encore paru au 01/01/98).

Après un lavage préalable au jet d'eau, le produit mélangé à l'eau, est pulvérisé à basse pression sur les parois avec une lance télescopique équipée d'une buse de diffusion.

Le produit dégouline lentement le long des parois verticales et assure ainsi la dissolution des incrustations. Le temps de contact nécessaire est d'environ 30 minutes.

#### **3 - RINÇAGE ET DESINFECTION**

Les surfaces nettoyées mécaniquement ou traitées chimiquement sont abondamment rincées à l'eau sous pression( éviter cependant les trop fortes pressions). Pour assurer la désinfection de l'ouvrage, on incorpore dans les dernières eaux de rinçage une solution désinfectante autorisée par le Ministère chargé de la Santé. Actuellement les produits les plus courants sont le chlore sous forme d'hypochlorite de sodium et les produits à base d'eau oxygénée (HERLISIL DE HERLI) Si on emploie l'eau de Javel, la concentration en chlore doit être de 50 g par m<sup>3</sup>.

Dans le cas d'un nettoyage avec des produits chimiques, il est nécessaire de contrôler le pH des eaux de rinçage avant leur rejet. Le pH doit être compris entre 5.5 et 8.5, dans le cas contraire on effectuera une neutralisation de ces eaux de lavage avant leur vidange.

#### **4 - REMPLISSAGE**

Les premières eaux de remplissage doivent être vidangées à plusieurs reprises. En général on effectue un ou deux rinçages après remplissage sur une hauteur d'eau comprise entre 0.10 et 0.50 m.

#### **5 - CONTROLE BACTERIOLOGIQUE FINAL**

Un ou plusieurs prélèvements d'échantillons destinés à l'analyse sont effectués en différents points du réservoir s'il est étendu en surface.

Si les contraintes d'exploitation le permettent, la remise en service du réservoir n'est effectuée que si les résultats des analyses sont satisfaisants, c'est le cas au SEDIF et sur le réseau parisien. En pratique, en particulier sur les petits et moyens réseaux la remise en service est effectuée après l'étape de remplissage.

Le nettoyage du réservoir doit être l'occasion de réaliser un examen complet de l'ouvrage et d'établir un rapport sur l'état de l'ensemble :

- ⇒ Génie Civil : enduits, étanchéité, fissuration,...
- ⇒ Equipements hydrauliques : canalisations, vannes, régulation, ...
- ⇒ Equipements annexes : capots-regards, grilles d'aération, échelles, garde-corps, portes, serrures,...

**ANNEXE 10**  
**LA SURVEILLANCE DES RESEAUX A PARIS**  
**ET EN REGION PARISIENNE**  
**RESEAU DU SEDIF**

**RESEAU DU SEDIF**

Ce réseau qui comprend 144 communes est contrôlé selon les règles suivantes :

- ⇒ La fréquence des contrôles est adaptée à l'importance de la population de chaque commune.
- ⇒ Chaque point fixe est contrôlé au moins une fois par mois pour les communes de plus de 5 000 habitants et une fois tous les deux mois pour les communes plus petites.
- ⇒ Les contrôles sont répartis en cours d'année de la manière la plus régulière possible : si un point est contrôlé trois fois par mois, le délai séparant deux prélèvements doit être aussi voisin que possible de dix jours.
- ⇒ Le contrôle d'un point fixe est accompagné du contrôle d'au moins un point mobile tributaire du même réseau.
- ⇒ Les réseaux tributaires des trois grandes usines sont contrôlés au moins cinq fois par semaine.

**RESEAU PARISIEN**

Les règles à respecter sont les suivantes :

- ⇒ chaque arrondissement est contrôlé au moins deux fois par mois,
- ⇒ chacune des aires alimentées par les quatre groupes de ressources est contrôlée en moyenne tous les deux jours,
- ⇒ les points fixes situés dans les grands réservoirs subissent un contrôle hebdomadaire,
- ⇒ le contrôle d'un point fixe est accompagné d'au moins un contrôle de point mobile situé dans le même arrondissement et sur le même réseau,
- ⇒ les points mobiles sont choisis, pour un arrondissement donné, dans le quartier dont le dernier contrôle est le plus ancien de manière à assurer une rotation par quartier.

Pour l'ensemble de ces réseaux, s'ajoute à ces contraintes de base l'obligation de pouvoir modifier jusqu'au dernier moment le programme d'une feuille de tournée pour y inclure tout nouveau prélèvement à réaliser, notamment lorsque les résultats d'analyse de l'échantillon prélevé précédemment se révèlent douteux ou lorsque le point de prélèvement est momentanément inaccessible (véhicule stationné sur la trappe d'accès, gardien d'immeuble absent... )

## ANNEXE 11

Annexe relative à l'entrée en vigueur progressive du  
décret 2001-1220 du 20 décembre 2001

23 /12/2001	25 /12/2003	25 /12/ 2008	25/12/ 2013
Décret 2001-1220 est en vigueur sauf ses annexes I-1 et -2 relatives aux paramètres de qualité. Ce sont les paramètres de qualité définis par le décret 89-3 qui s'appliquent jusqu'en 2003.	Entrée en vigueur des nouveaux seuils pour les paramètres de qualité de l'eau définis par le décret 2001-1220 du 20 décembre 2001		
	<b>PARTICULARITES POUR LES 4 PARAMETRES SUIVANTS :</b>		
<b>PLOMB</b>	25 µg/l		10 µg/l
<b>BROMATES</b>	25 µg/l	10 µg/l	
<b>TRIHALOMETHANES</b>	150 µg/l	100 µg/l	
<b>TURBIDITE</b>	<p style="text-align: center;"><b>1NFU</b> pour les usines de production d'eau desservant plus de 5000 habitants ou fournissant plus de 1000 m<sup>3</sup> d'eau /jour.</p> <p style="text-align: center;"><b>2 NFU</b> pour les usines de production d'eau desservant moins de 5000 habitants ou fournissant moins de 1000 m<sup>3</sup> d'eau /jour.</p>	<b>1NFU</b> pour toutes les usines de production d'eau	

## **BIBLIOGRAPHIE**

### **AGENCES DE L'EAU**

Application de la loi sur l'eau  
Il n'y a pas de temps à perdre  
J. Maires, 1995, 138, N° 11, 33

### **AGHTM, SSIGE, FEDERGASACQUA**

Journées techniques  
1990, 4-6/10, 450 p.

### **AGHTM**

L'association française des spécialistes de l'environnement  
La lettre de l'AGHTM, 1995, N° 5

### **AGHTM**

Matière organique biodégradable dans les réseaux de distribution d'eau potable TSM, 1991, N° 9, 411-444

### **ARENT G.**

Die Erneuerung der Trinkwasserversorgung im ländlichen Raum des südöstlichen Mecklenburg  
GWf, 1995, 136, N° 14, 86-91

### **ASHWORTH et COLBOURNE**

Microbial alterations of drinking water by building services materials - fields observations and the United Kingdom water fitting scheme. Proc. Biodeterioration Society Meeting. Delft, Holland, EPA p12., 1986

### **BESNER ET AL**

Understanding distribution system water quality  
Journal AWWA, July 2001

### **BOE-HANSEN R., ALBRECHTSEN H.J., ARVIN E., JORGENSEN C.**

Dynamics of biofilm formation in a model drinking water distribution system  
Journal of Water Supply : research and technology, 2002, vol. 51, n°7

### **BOIREAU A., BARON J., HARMANT P.**

Diagnostic de la qualité de l'eau dans le réseau et de l'état de propreté des conduites  
TSM, n°6, juin 2002

### **CASCETTA F.**

The Water Industry in Italy : State of the Art and a Comparison with Other European Community Countries Water Resour. Manage., 1995, 9, N° 3, 243-250

**CHARACKLIS, W.G.; MARSHALL, K.C. eds** :Biofilms, John Wiley & Sons, Inc., New York 1990.

### **CHLORSCAN-VP**

L'analyseur de chlore actif dans l'eau TSM 1992,87,6,299-306.

**COLIN F., JOURDAIN M. J., MORLOT M.**

Evaluation des risques pour la potabilité de l'eau résultant de la perméabilité du polyéthylène  
Eur. Hydrol., 1994, 25, N° 1

**COMPAGNIE GENERALE DES EAUX**

Nettoyage et désinfection chimique des réservoirs Note interne, 05/1994, QEP MO 004

**COMPAGNIE GENERALE DES EAUX, IAURIF**

L'eau et les collectivités locales, 1991, éditions du Moniteur.

**CORDONNIER J.**

Evolution et suivi de la qualité des eaux dans les réseaux d'eau potable Communication  
personnelle Lyonnaise des eaux , juin 1995

**COTTET C.**

Maintien de la qualité de l'eau de la production à l'abonné GWA, 1993, N° 9, 716-720

**CUBILLOR, MERCIER M.**

An approach to water-quality modeling in the Parish and Madrid distribution networks Water  
Supply, 1993, 11, N° 3/4, 377-385

**DELANDRE R. J.**

Les réseaux de mesure de la pollution atmosphérique. Exposé introductif. La surveillance de la  
pollution atmosphérique en France.  
TSM, 1991, N°4, 118-120

**DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT, WELSH OFFICE**

Drinking water 1994 HMSO, Juin 1995

**DEVOS F., MENIN M.**

Maîtrise de l'évolution de la qualité de l'eau dans le réseau de distribution : le purgeur  
automatique temporise, Eau industrie nuisances., 1994, n° 175

**DIRECTION DEPARTEMENTALE DES AFFAIRES SANITAIRES ET SOCIALES DE LOIRE-  
ATLANTIQUE**

L'eau potable sans retours ou comment mettre en place une politique de protection des réseaux  
d'eau potable contre les retours d'eau septembre 1991

**DUGUET J. P.**

Efficacité des traitements de potabilisation visa-vis de la microbiologie de la ressource :  
recommandations et conclusions TSM, 1995, N° 3, 237-239

**DURAND B.**

Entretien des canalisations et ouvrages nettoyage et désinfection Importance du contrôle de  
qualité Actes du séminaire « Désinfection des eaux », SAGEP, 20 mars 1996

**DURAND B., MONTIEL A.**

Importance de l'entretien des canalisations et ouvrages : nettoyages - désinfection Actes du  
séminaire « Désinfection des eaux », SAGEP, 20 mars 1996

**EPA**

Control of biofilm growth in drinking water distribution Systems EPA, Washnigton, 1992

**FAURIS C., DANGLLOT C., VILAGINES R.**

Etude d'un pilote simulant un réseau et permettant de tester la qualité d'un matériau en contact avec l'eau

J. Fr. Hydrol., 1993, 24, N° 2, 139-154

**FIELDING M., ROGERS H. R., WILSON I. M.**

Effects of materials on water quality - Inventory of approval Systems in EU and EFTA countries for products for use in contact with drinking water WRC, novembre 1994

**FNCCR**

Réponse du Ministre d'Etat, Ministre des Affaires sociales, de la Santé et de la Ville Les services publics communaux et départementaux, 1994, N° 188, Eau 343-A, 216-217

**FRANCK M.**

Du compteur... au robinet Travaux, 1991, N° 667, 59-62

**GATEL D., BOURBIGOT M. M., VANDEVELDE T.**

Enjeux Scientifiques et Techniques du traitement des eaux de rivière L'Eurobiologiste 1996, Tome XXX, N° 224, 321-328

**GENTIL A.**

Les réservoirs d'eau potable TSM, 1980, N° 11, 523-531

**GODET J. L., BUFFAUT P., GUILLEMOT M. L.**

Programmes d'amélioration de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine TSM, 1996, N° 1, 51-54

**GODFROY B., MARTIN P.**

La démarche qualité du service Lyon agglomération TSM, 1996, N° 4, 239-242

**HARTEMANN P.**

Normes Bactériologiques : Signification des Indicateurs, Actes du séminaire « Désinfection des eaux », SAGEP, 20 mars 1996

**HARTEMANN P.**

L'eau et les bactéries dans les canalisations Hartemann P., Sanco Conf. Fond., 1984

**HOULMANN N.**

Réservoirs d'eau : conception et entretien vus sous l'angle des Directives de la SSIGE GWA, 1992, 72, N° 5, 320-323

**HUSSON MAREUX M. H., FABY J. A.**

Les procédés à membrane pour le traitement de l'eau et l'assainissement FNDAE, Paris, 1995

**JUANICO M., RAVID R., AZOV Y.**

Removal of trace metals from wastewater during long-term storage in seasonal reservoirs Water Air Soil Pollut., 1995, 82, N° 3-4, 617-633

**KERNEIS A., PHILIPPOTEAUX H., DEGUIN A.**

Application d'une méthode de traçage à la validation d'un algorithme de calcul de temps de séjour de l'eau dans un réseau de distribution TSM, 1993, N° 5, 237-240

**KERNEIS A., SIMON PH., DEGUIN A.**

Designing a drinking-water monitoring System for rural distribution  
Water supply, 1993, Nos 3/4, Vol. 11, 219-231

**KIRMEYER G. J., FRIEDMAN M., MARTEL K.D., NORAN P.F., SMITH D.**

Practical guidelines for maintaining distribution system water quality  
Journal AWWA, July 2001

**KLEINAU A., KRIETENBRINK H.**

Leitungserneuerung durch Rohreinzug GWF, 1995, 136, N° 10, 527-530

**LE GUEN A.**

Matériaux utilisés pour les canalisations AEP : influence sur la qualité de l'eau  
Office International de l'Eau, Février 1999

**LECHEVALLIER M. W.**

Regrowth in drinking water : a review Awwa, 1990, N°11, 74-86

**LECHEVALLIER M. W., LOWRY C. D., LEE R. G.**

Disinfecting biofilms in a model distribution System, JAWWA, 1990, 82, NO 7, 87-99

**LEROY P., BOUSQUET G., MARTIN J.**

Stratégie d'échantillonnage des analyses bactériologiques sur des réseaux de distribution d'eau étendus TSM, 1995, N° 3, 184-187

**LEVI Y.**

Les paramètres influençant le développement des germes dans les réseaux d'eau potable TSM, 1995, N° 3, 240-245

**LEVI Y., KIENE L., PIRIOU P. H.**

Gestion d'un réacteur complexe : le réseau de distribution d'eau potable Colloque « Mieux gérer l'eau » Hydrotop 94, 12-15 avril 1994, Marseille, France

**LYONNAISE DES EAUX DUMEZ**

Goûts et odeurs de l'eau potable Lyon. Eaux Dumez, Le Pecq

**MAGAZINE DU SYNDICAT DES EAUX D'ILE-DE-FRANCE**

Infeau, N° 38, 1996

**MAGNIN J.**

La protection contre les retours d'eau TSM, 1995, N° 3, 250-253

**MAMBOURG J. P.**

Arrêté relatif à la conception, à la mise en oeuvre, à la vérification et à l'entretien des installations de distribution d'eau destinée à la consommation humaine AGHTM, 21 novembre 1995

**MANSOTTE F.**

Le risque microbiologique

Actes du séminaire « Désinfection des eaux », SAGEP, 20 mars 1996

**MATHIEU L, ET COL.**

Paramètres gouvernant la prolifération bactérienne dans les réseaux de distribution Rev. Sci. Eau, 1992, 5, N° spécial

**MAUL A., VAGOST D., BLOCK J. C.**

Stratégies d'échantillonnage pour analyse microbiologique sur réseaux de distribution d'eau Méthodes et programmes informatiques Lavoisier, 1989, (66/65914-G 5918)

**MEHEUS J.**

Comparaison entre deux directives européennes

Bull. Inf. ANSEAU/NAVEWA, 1991

**MESNY M., ICGREF**

Organisation de la sécurité des réseaux de distribution d'eau potable Bull. Cons. Gén. GREF, 1994, N° 38, 57-64,

**MINISTERE DE LA SANTE**

La protection sanitaire des réseaux de distribution d'eau potable Une dynamique départementale Note interne, juin 1990

**MINISTERE DE LA SANTE**

Matériaux utilisés dans les installations fixes de distribution d'eaux destinées à la consommation humaine, à l'exception des supports de traitement DGS/VS4/N°94/9, 1994 01 25

**MINISTERE DE LA SANTE**

Mise en oeuvre des bonnes pratiques d'entretien des réseaux d'eau potable dans les établissements de santé et aux moyens de prévention du risque lié aux légionelles dans les installations à risque et dans celles des bâtiments recevant du public, Circulaire DGS/VS4/98/771, décembre 1998

**MINISTERE DE LA SANTE**

Prévention du risque lié aux légionelles dans les établissements de santé, circulaire DGS/SD7A/SD5C-DHOS/E4 n° 2002/243, avril 2002.

**MINISTERE DE LA SANTE PUBLIQUE ET DE L'ASSURANCE MALADIE**

Eaux destinées à la consommation humaine Circulaire, DGS/VS4, juin 1995

**MINISTERE DE L'ECONOMIE, DES FINANCES ET DE L'INDUSTRIE**

Legionella et tours aéroréfrigérantes , Guide des bonnes pratiques, Juin 2001

**MINISTERE DES AFFAIRES SOCIALES ET DE L'EMPLOI**

Hygiène publique : protection sanitaire des eaux de distribution d'eau destinée à la consommation humaine Guide technique N°1, avril 1987, bulletin officiel N°87-14 bis

## **MINISTERE DU TRAVAIL ET DES AFFAIRES SOCIALES**

Arrêté relatif au nettoyage et à la désinfection des installations de distribution d'eau destinée à la consommation humaine mai 1996

### **MONTIEL A.**

L'eau de notre robinet est-elle potable ? Agence Eau Artois - Picardie, 15 juin 1993

### **MONTIEL A.**

Les réactifs utilisés pour la désinfection des eaux Réactifs bactéricides - Réactifs bactériostatiques Actes du séminaire « Désinfection des eaux », SAGEP, 20 mars 1996

### **MONTIEL A.**

Paramètres importants à prendre en compte pour s'assurer d'une bonne désinfection et d'une bonne qualité microbiologique de l'eau Actes du séminaire « Désinfection des eaux », SAGEP, 20 mars 1996

### **MONTIEL A., SAGEP, EAU DE PARIS**

Les réactifs utilisés pour la désinfection des eaux  
Réactifs bactéricides - Réactifs bactériostatiques  
Actes du séminaire « Désinfection des eaux », CRECEP/SAGEP, 20 mars 1996

### **MONTIEL A., WELTE B., LEROY P.**

Spécial Microbiologie de l'eau 1995 TSM, 1995, N° 3, 169-254

### **MONTIEL A., WELTE B.**

Exemple de stratégie d'autosurveillance de la production et de la distribution de l'eau Potable, TSM, 1995, N° 3, 181-183

### **MONTIEL A., WELTE B.**

Nettoyage et désinfection obligatoires après intervention, TSM, 1995, N° 3, 246-249

### **NAFA.**

Neue Materialien im Rohrnetz unter besonderer Berücksichtigung des Innenbeschichtung. Gas, Wasser, Wärme 1982, 36, 46-49.

### **N. A. N. C. I. E.**

Les réseaux de distribution d'eau d'alimentation en France N.A.N.C.I.E., 1991

### **NGUYEN B., MONTIEL A., WELTE B.**

Moyens d'analyse pouvant être utilisés pour le suivi en continu du chlore : Applications Actes du séminaire « Désinfection des eaux », CRECEP/SAGEP, 20 mars 1996

### **PAQUIN J. L., BLOCK J. C., HAUDIDIER K.**

Effet du chlore sur la colonisation bactérienne d'un réseau expérimental de distribution d'eau Rev. Sci. Eau, 1992, 5, N° 3

### **FAQUIN J. L., BLOCK J. C., HAUDIDIER K.**

Effet du chlore sur la colonisation bactérienne d'un réseau expérimental de distribution d'eau Rev. Sci. Eau, 1992, 5, N° 3

**PAQUIN J.L. HARTEMANN P., BLOCK J. C., COLIN F., MIAZGA J., LEVI Y.**

Chloration et colonisation bactérienne des réseaux de distribution d'eau Actes. « 71<sup>ème</sup> congrès de l'AGHTM », 16/04/1991, Annecy

**PAQUIN J.L., VANELLE A., CAMPESE R., HARTEMANN P.**

Etude de la prolifération microbienne induite par un matériau en contact avec l'eau, Fr. Hydrol., 1988, Fasc. N°1, 29-38

**PEARSON T. M.**

Secondary Disinfection of Service Reservoirs JIWEM, 1990, N°4, 341-349

**PEDAHZUR R., LEV O., FATTAL B.**

The interaction of silver ions and hydrogen peroxide in the inactivation of E. COLI : a preliminary evaluation of a new long acting residual drinking water disinfectant  
Wat. Sci. Tech., 1995, Vol 31, N° 5-6, 123-129

**PEYTON B. BRENT**

Effects of shear stress and substrate loading rate on Pseudomonas Aeruginosa Biofilm thickness and density Water Res., 1996, 30, N° 1, 29-36

**PIERRE C., BUSTARRET J.**

Responsabilités des distributeurs d'eau Continuité du service et lutte contre l'incendie  
Compagnie Générale des Eaux TSM, 1994, N° 7-8, 423-426

**PIRIOU PH., KIENE L., LEVI Y.**

Les nouveaux outils pour la gestion de la qualité en réseau de distribution d'eau potable TSM, 1996, N° 6, 408-449

**POINTS SCIENCES ET TECHNIQUES**

100 ans après Pasteur : microbiologie et désinfection des eaux potables 1995, 6, N° 2

**POTELON J. L., ZYSMAN K.**

Guide des analyses d'eau potable Lettre cadre territorial, Voiron, 1993

**PREFECTURE DE LA SEINE-MARITIME DIRECTION DEPARTEMENTALE DES AFFAIRES SANITAIRES ET SOCIALES**

Contrôle sanitaire des eaux d'alimentation Mesures prises à l'occasion de « VIGIPIRATE 1995 » par les exploitants de Seine-Maritime Service « Santé – Environnement », janvier 1996

**QUALITE DES EAUX - LES NORMES A L'EPREUVE DE L'EUROPE**

Réglementation, Directives N°80-778 et 75-440

**RIGAUD G., SANTURETTE N.**

Pour une surveillance accrue de la qualité de l'eau en réseau : l'autocontrôle bactériologique  
TSM, 1995, N°2, vol. 6, 23-26

**ROGGENKAMP K.H.**

Bakteriologische Trinkwasserbeeinträchtigung nach Aus Kleidung und Beschichtung von Behältern., Neue DELIWA-Zeitschrift 1982, 62-64.

**ROSSMAN L A., CLARK R. M., GRAYMAN W. M.**

Modeling Chlorine Residuals in Drinking-Water Distribution Systems, J. environ. Eng., 1994,120, N° 4, 803-820

**SAGEP, CHLORSCAN-VP**

L'analyseur de chlore actif dans l'eau, la sentinelle : votre image de la qualité de l'eau jusqu'au robinet de l'utilisateur Brochure commerciale, 1996

**SAOUT C.; DAVEZAC H.**

Modalités pratiques de réalisation du contrôle sanitaire de l'eau destinée à la consommation humaine : échantillonnage des analyses sur des réseaux de distribution d'eau TSM, 1995, N° 3, 188-195

**SCHELLART J.A.**

Desinfection and bacterial regrowth : some experiences of the Amsterdam water works before and after stopping the safety chlorination Water Supply, 1986, 4, N°3, 217-225

**SCHMITT J. P.**

La qualité de l'eau dans le réseau de distribution : le programme de recherches " Biofilm " Courants, 1994, N° 26, 29-33

**SCHOENEN D.**

Influence of materials on the microbiological colonization of drinking water, Aqua, 1989, 38, N°2, 101-113

**SCHOENEN D., SCHOELLER H.F., HEMMINGS B.D.**

Drinking water materials, field observations and methods of investigation Ellis Horwood Ltd/John Wiley/Gustav Fisher Verlag, 1985

**SCHULHOF P., CABRIDENC R., CHEDAL J.**

Qualité de l'eau dans les grands réseaux de distribution, TSM, 1990, N° 11, 561-594

**SEE M. - COMPAGNIE GENERALE DES EAUX**

Nettoyage et désinfection des réservoirs sur le réseau du syndicat des eaux d'Ile de France juin 1995, Deuxième édition

**STEPHENSON D.**

Factors affecting the cost of water supply to Gauteng, Water SA, 1995, Vol. 21, N° 4, 275-280

**TRICARD D., BUFFAUT P.**

L'application en France des directives « eaux potables » Courant, 1991, N° 12, 72-84

**TRICARD D., BUFFAUT P.**

Interprétation et communication des résultats au regard des normes microbiologiques relatives aux eaux destinées à la consommation humaine TSM, 1995, N° 3, 196-199

**VAN DER KOOIJ D., VEENENDAAL H. R., BLOCK J. C.**

Biological activity in distribution Systems In conf. "19th international water supply congress and exhibition, water and the environment a common cause", 2-8/10/1993, Budapest, 1993

**VIAL J.**

Les risques sanitaires liés à la microbiologie de l'eau : évolution et modalités d'évaluation TSM, 1995, N° 366/88864, 172-179

**VOLK C., JORET J. C.**

Paramètres prédictifs de l'apparition des coliformes dans les réseaux de distribution d'eau Alimentaire, Rev. Sci. Eau, 1994, 7, N° 2, 131-152

**WOOLSCHLAGER J., RITTMANN B. E.**

Evaluating what is measured by BDOC and AOC tests ?, Rev. Sci. Eau, 1995, 8, N° 3, 371-385