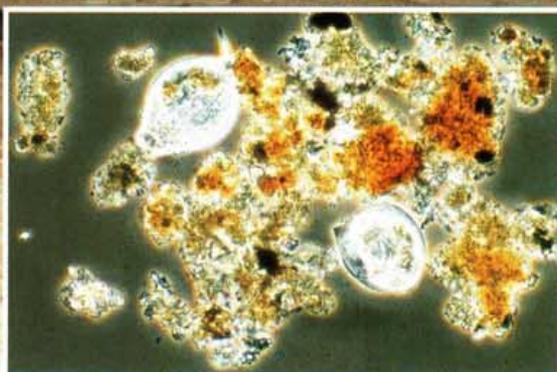




MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE LA PÊCHE

LA DÉGRADATION DE LA QUALITÉ DE L'EAU POTABLE DANS LES RÉSEAUX



DOCUMENTATION TECHNIQUE
FNDAE
Hors-Série N° 12

MINISTERE DE L'AGRICULTURE
ET DE LA PECHE
**DIRECTION DE L'ESPACE RURAL
ET DE LA FORET**

DOCUMENTATION TECHNIQUE
FNDAE
(Fonds National pour le Développement
des Adductions d'Eau)

Sous-Direction du Développement Rural
19, avenue du Maine - 75752 PARIS CEDEX 15

Hors-Série N° 12

LA DÉGRADATION DE LA QUALITÉ DE L'EAU POTABLE DANS LES RÉSEAUX

Cette étude financée par le F.N.D.A.E., a été réalisée par Jean-Antoine FABY,
Chef du Service National d'Information et de Documentation sur l'Eau,
à la Direction de la Documentation et des Données,
ainsi que par Jean-Luc CELERIER,
Formateur, à la Direction de la Formation et des Etudes.

Elle a été examinée, corrigée et validée grâce au concours
de la Compagnie Générale des Eaux, et de Suez - Lyonnaise des Eaux (CIRSEE).

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays.

La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les «copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective» et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, «toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite» (alinéa 1er de l'article 40).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

N° ISBN : 2-11-091-010-0

Photos de couverture :

- Opération de nettoyage d'un réservoir d'eau potable (photo NANCIE)
- Animacule des sédiments des réseaux d'eau potable : rotifères s'alimentant sur un floc (photo V. GAUTHIER / LSE - Nancy)

SOMMAIRE

1	- Règlementation	5
2	- Facteurs à l'origine de la dégradation de la qualité de l'eau dans les réseaux	7
1)	Introduction	7
2)	Les phénomènes biologiques	7
2-1	D'où viennent les microorganismes	7
2-2	Formation du biofilm et caractéristiques	8
2-3	Les principaux organismes susceptibles d'être présents dans les réseaux	8
2-4	Facteurs jouant un rôle dans la reviviscence	11
2-5	Mesure de la reviviscence bactérienne	11
2-6	Conséquences d'un accroissement du biofilm et contrôle de son évolution	11
3)	Facteurs physicochimiques influençant la dégradation de la qualité de l'eau	12
3-1	pH et minéralisation	12
3-2	Température	12
3-3	Oxygène dissous	12
3-4	Turbidité	13
3-5	Ammonium	13
3-6	Matières organiques	13
3-7	Désinfectant résiduel	14
3-8	Les facteurs organoleptiques : indicateurs de qualité	14
3-9	Influence des phénomènes de corrosion sur la qualité de l'eau	15
4)	Facteurs de dégradation liés à la conception ou à la gestion du réseau	15
4-1	L'hydraulique du réseau	15
4-2	Influence du choix des matériaux	16
4-3	Origine des altérations de la qualité de l'eau potable	16
3	- Consignes et procédures pour limiter le risque de contamination et de dégradation de la qualité	21
1)	La qualité de l'eau produite	21
1-1	Traitements de désinfection	21
1-2	Réduction des éléments nutritifs	23
2)	La conception et le dimensionnement des réseaux	24
2-1	Les matériaux à utiliser	24
2-2	Conception des ouvrages de stockage	26
2-3	Conception des points singuliers : ventouses/vidanges	28

3)	L'exploitation du réseau	28
	3-1 La connaissance du réseau	28
	3-2 Les purges sur le réseau	29
	3-3 Nettoyage et réhabilitation des canalisations	29
	3-4 Pratique des arrêts d'eau	29
	3-5 Nettoyage et désinfection du réseau après intervention	30
	3-6 Nettoyage et désinfection des réservoirs	30
	3-7 Consignes diverses à suivre en cours d'exploitation	31
	3-8 Maintien d'un résiduel de chlore	32
	<i>et mise en place de chloration intermédiaire</i>	
4)	La protection sanitaire contre les retours d'eau	32
	4-1 Législation	32
	4-2 Les origines hydrauliques	32
	4-3 Les installations à risque	33
	4-4 Les appareils de protection	33
4	- L'analyse du risque dans la distribution d'eau potable	35
1)	Le suivi de la qualité de l'eau dans les réseaux	35
	1-1 La réglementation	35
	1-2 Stratégie d'échantillonnage	36
	1-3 Les mesures en continu	37
	1-4 Analyse de risque dans les ouvrages de transports	38
	<i>(aqueducs, feeders) et de stockage (réservoirs)</i>	
2)	La modélisation	38
	2-1 Le modèle hydraulique	39
	2-2 Le modèle qualité	39
	2-3 Quelques exemples de modèles utilisés	40
6	- Annexes	41
	Annexe 1 : Principaux textes relatifs aux eaux destinées	41
	<i>à la consommation humaine</i>	
	Annexe 2 : Caractérisation de l'activité germicide des désinfectants	42
	Annexe 3 : Mesure des effets des matériaux organiques	43
	<i>sur la qualité des eaux destinées à la consommation humaine</i>	
	Annexe 4 : Compatibilité des matériaux avec les eaux destinées	45
	<i>à la consommation humaine</i>	
	Annexe 5 : Commentaires juridiques particuliers relatifs	46
	<i>à la qualité de l'eau en réseau</i>	
	Annexe 6 : Schéma d'installation d'une ventouse	52
	Annexe 7 : Les méthodes de nettoyage des canalisations	53
	Annexe 8 : Précautions à prendre sur le chantier pour le nettoyage	55
	<i>et la désinfection des conduites</i>	
	Annexe 9 : Exemples de matériel de désinfection des canalisations	58
	Annexe 10 : Phases de nettoyage d'un réservoir	60
	Annexe 11 : La surveillance des réseaux à Paris et en région parisienne	61
7	- Bibliographie	63

Dès la fin du XIX^e 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^{ème} 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 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 75-440 (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 75-440, 79-869 et 80-778 et d'autre part le Code de la Santé Publique (voir Annexe 1 page 41) :

- La directive 75-440 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 79-869 la complète en définissant les modalités de vérification de la qualité de ces mêmes eaux superficielles (caractéristiques, méthodes d'analyses, ...).
- La directive 80-778 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 87-17 du 6 janvier 1986. Celle-ci modifie ces articles L.1

et L.2 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 L.2, L.19 à L.25, L.48 traitent des dispositions pénales et l'article L.49 des compétences de l'Etat.

Ce décret 89-3 modifié comprend cinq sections regroupant 28 articles et trois annexes ; citons plus particulièrement les trois premières sections qui nous intéressent :

- La section I traite des dispositions générales dont, plus spécialement par rapport à notre sujet, les règles de suivi de la qualité des eaux et relatives aux matériaux en contact avec l'eau.
- La section II est relative à la qualité de la ressource.
- La section III présente les dispositions relatives aux distributions collectives publiques et privées dont les procédures de déclaration applicables aux réseaux.

Dans l'environnement juridique du décret, 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 ANTIPOL (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.

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. L'essentiel en est incorporé dans l'Annexe 5 page 48.

Pour revenir sur le décret 89-3 modifié, il paraît intéressant de révéler quelques subtilités par rapport aux directives européennes :

- 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.

Plus récemment le nouveau décret 95-363 du Ministère chargé de la Santé modifie encore le décret 89-3 en application de la loi 92-3 du 3 janvier 1992 en ce qui concerne notamment l'information au public, les procédures d'autorisation et l'application des décrets relatifs à la nomenclature eau de l'article 10 de la loi.

Enfin il faut évoquer la toute nouvelle proposition de modification de la directive européenne eau potable qui tendrait à ménager davantage de liberté aux états membres tout en demandant une meilleure information du public, mais aussi à réduire la teneur en plomb dans l'eau.

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.

2) Les phénomènes biologiques

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 pour-

quoi 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

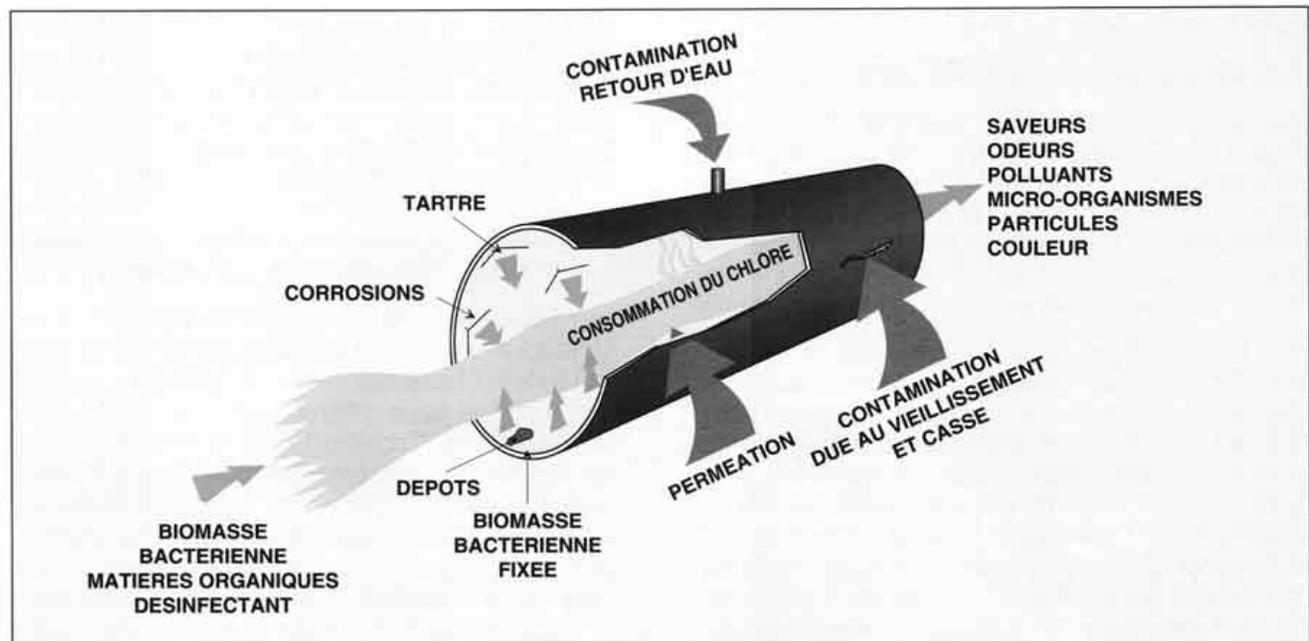


Figure 1 : Le réseau réacteur (d'après LEVI - 1995)

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 inaptées à la croissance sur des milieux de culture standard suivant les conditions types fixées.

Sur des milieux de culture plus pauvre (dits milieux de "ressuscitation") avec des 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 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.

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).

2-3 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'oeil nu du consommateur puisqu'ils mesurent quelques centimètres, ils constituent une gêne notable.

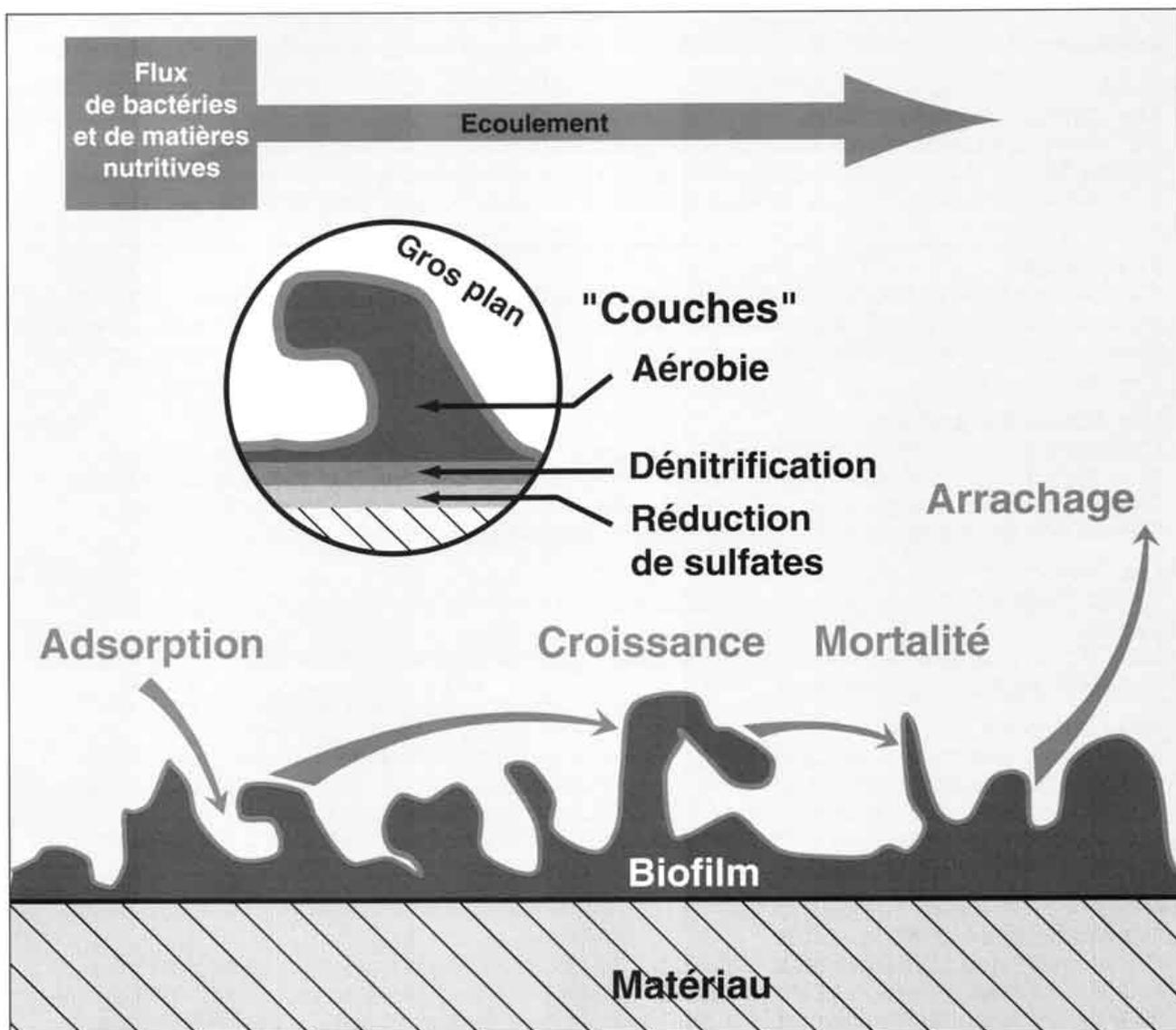


Figure 2 : Le biofilm

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 (page 10) 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 constatées (HARTEMANN - 1996).

<p>Les Levures telles que <i>Rhodotorula rubra</i> ou <i>glutinis</i>, quelquefois associée aux <i>Pseudomonas</i>, et susceptible de se maintenir dans des conditions de désinfectant éliminant les <i>Pseudomonas</i></p>
<p>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.</p>
<p>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.</p>
<p>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, <i>Cryptosporidium</i> (quelques occurrences récentes aux Etats Unis et en Grande Bretagne), <i>Giardia</i> (kystes résistants à désinfection par le chlore et l'ozonation).</p>
<p>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.</p>
<p>Les Crustacés Ils sont considérés comme non-dangereux, mais sont suspectés de fournir une protection contre la désinfection pour les bactéries dans leur tube digestif. Ils peuvent atteindre une longueur de plusieurs centimètres. Citons <i>Asellus aquaticus</i> et <i>Gammarus pulex</i>. Une étude d'organismes planctoniques à la sortie des stations de la Sté des Eaux de Marseille a également recensé les crustacés suivants <i>Daphnia</i>, <i>Bosmina</i>, Copépoda (<i>harpacticoida</i>, <i>cyclopoida</i>), <i>Ostracoda</i>.</p>
<p>Les Mollusques et les Insectes Peuvent être aussi présents sous forme de larves ou d'oeufs (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.</p>

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)

2-4 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 phosphoré 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 molé-

cules 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).

2-5 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/cm², selon les valeurs généralement rapportées dans la littérature (PAQUIN - 1992).

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 "brouetteurs" qui sont souvent macroscopiques et visibles à l'oeil 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).

3) Facteurs physicochimiques influençant la dégradation de la qualité de l'eau

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 CO₂ dissous, ou bien parce que l'eau traitée n'était pas forcément à l'équilibre calco-carbonique en sortie de station.

Une aération dans un réservoir peut rendre une eau dure et incrustante par une perte de CO₂, ce qui risque alors d'obturer les conduites par dépôt de tartre. La solution est l'addition de CO₂ et/ou l'extraction de CaCO₃, qui servent à restaurer l'équilibre.

Inversement, une eau chargée de CO₂ 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 CO₂ 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.

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 coliformes 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.

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.

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 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 glyco-calyx (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 clostridium après traitements et la diminution de la turbidité le prouvent (MONTIEL - 1996).

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.

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).

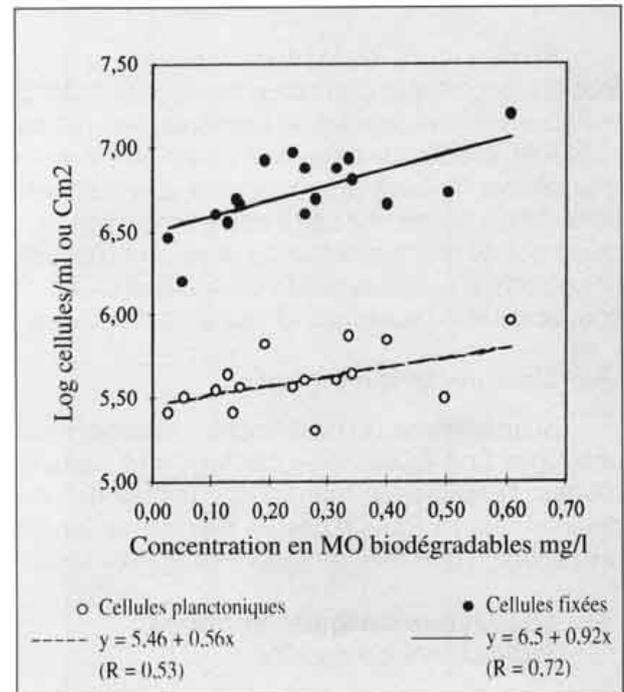


Figure 3 : Relation entre le Log de la densité bactérienne (Epifluorescence) et la concentration en matière organique biodégradée (MATHIEU, PAQUIN, BLOCK, RANDON, MAILLARD, REASONER - 1992)

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 ⁻¹
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 COTmètre.

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.

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).

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 CHEVALLIER 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 organoleptiques 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.

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 (voir chapitre 3).

4) Facteurs de dégradation liés à la conception ou à la gestion du réseau

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 (voir chapitre 3, paragraphe.2.3) 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 m. s^{-1} et disparaissent au-delà de 0.1 m.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 $1,5 \text{ m.s}^{-1}$.

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.

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 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 jus-

qu'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.

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 tous 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	Pollution microbiologique essentiellement
		Introduction de polluants	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 Manoeuvre de réseau, coups de bélier Erreurs de branchement (ex : sur réseau d'eau non potable)	Développement de germes	Contamination microbiologique
		Mise en suspension de dépôts	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 inadéquats 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	Pollution toxique ou organoleptique Altération des paramètres métaux Relargage de bactéries ou d'éléments minéraux
		Corrosion	
		Stagnation de l'eau	Contamination microbiologique (Legionella) Pollution microbiologique, chimique (NH ₃), organoleptique

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



Etat d'une conduite avant intervention
(photo NANCIE)



Ecoute de l'avancement d'un outil de nettoyage
(photo NANCIE)



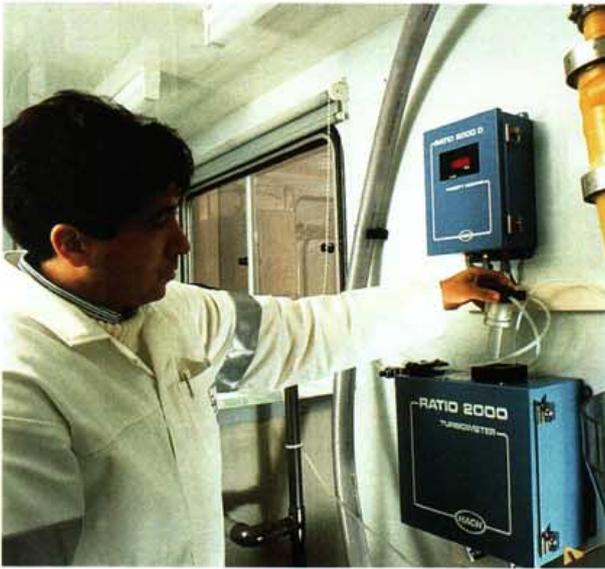
Eaux résultant du nettoyage
(photo NANCIE)



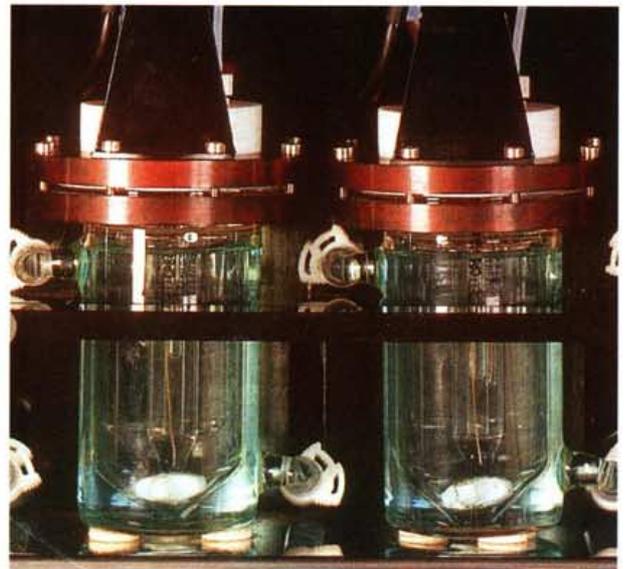
Etat après nettoyage
(photo NANCIE)



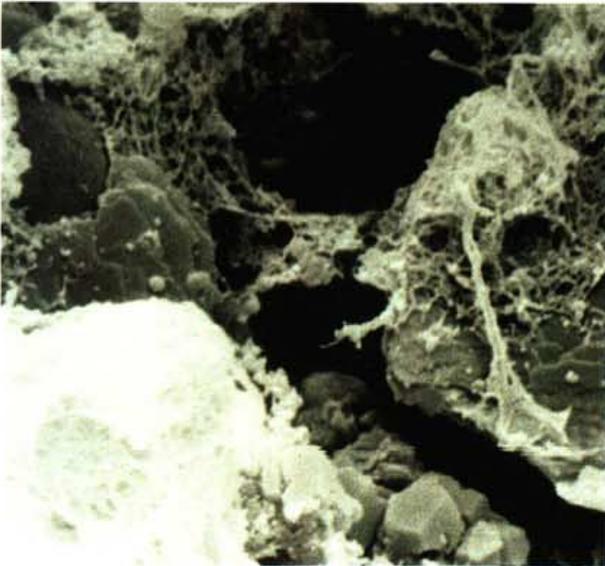
Etat après revêtement
(photo NANCIE)



Unité de mesure et d'évaluation des dépôts (UMED) - SARP



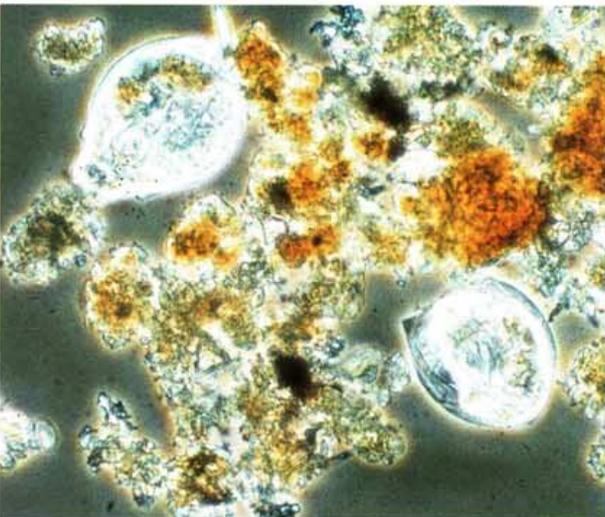
Le COLITRACK® - analyseur de germes SAUR - CRECEP



Biofilm sur des mortiers de ciment après 5 semaines d'exposition dans un réseau (photo V. GAUTHIER / LSE - Nancy)



Aselle (photo CGE)



Animacule des sédiments des réseaux d'eau potable : rotifères s'alimentant sur un floc (photo V. GAUTHIER / LSE - Nancy)

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 (Décret 89-3 modifié), 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.

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 rappellions les techniques à utiliser avec leurs avantages et inconvénients.

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 (ClO, 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). 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