

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. Il 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.

### 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 CODB 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 (voir aussi Annexe 2 - page 42)

## 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 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.

## 2) La conception et le dimensionnement des réseaux

Au chapitre 2, paragraphe 4-3, 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.

### 2-1 Les matériaux à utiliser

Comme le signale la circulaire DGS/94-9 du 25 janvier 1994 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 et, plus particulièrement, à l'article 7 ainsi rédigé :

"Les matériaux utilisés dans les systèmes de production ou de distribution et qui sont au contact de l'eau destinée à la consommation humaine ne doivent pas être susceptibles d'altérer la qualité de l'eau. Ils doivent répondre aux conditions définies par un arrêté pris, après avis du conseil supérieur d'hygiène publique de France, par les ministres chargés de la santé, de l'industrie, de la consommation et de la construction."

L'article 3 du règlement sanitaire départemental-type, diffusé par la circulaire du 9 août 1978 du Ministère Délégué à la Santé rappelle que :

- "Les revêtements bitumineux, les enduits dérivés du pétrole et tous les produits similaires, ainsi que les revêtements en matière plastique ne doivent être employés que dans la mesure ou, en contact avec l'eau, ils ne risquent pas de se désagréger ou de communiquer à celle-ci des saveurs ou odeurs désagréables,"
- "Les substances entrant dans la composition des matériaux utilisés pour les canalisations, les appareils ou parties d'appareils et les accessoires en matière plastique doivent satisfaire à la réglementation en vigueur concernant les matériaux et objets placés en contact avec les denrées alimentaires."

Le respect des exigences réglementaires

requis 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 sera mis en oeuvre dans le Décret 95-363 (voir Annexe 5 page 48).

#### **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 1<sup>er</sup> mars 1996 du même ministère.

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.

#### **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 conséquences 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 la 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.

### **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.

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 Montmancy 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 désamorce 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.

## **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). (Voir Annexe 6)

- 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) 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.

### **3-1 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.

### 3-2 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 (P.A.T.) 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 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 : 20 mg/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 7.

### 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 d'envahir 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, col-



lectivité, 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)

### **3-5 Nettoyage et désinfection du réseau après intervention (Travaux neufs et réparation)**

En application de la réglementation en vigueur, en particulier le Décret du 5 avril 1995 (Projet d'arrêté en cours de réalisation), "les réseaux et installations publiques doivent être nettoyés, rincés et désinfectés avant toute mise ou remise en service".

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 9 page 58).

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 8 et ci-après les principales consignes à respecter et quelques cas pratiques identifiés sur le terrain.

### **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 30 du Décret 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 projet de Guide Technique en cours au Ministère délégué à la Santé. Actuellement, il est déjà en oeuvre sur le terrain par un certain nombre d'exploitants.

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 10.

### **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) 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 revivifiants 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).

## **3-7 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 percement de 15 à 40 mm) sont manuels, les machines permettant un percement 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.

## **Manoeuvres sur le réseau**

On évitera de manoeuvrer 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.

### **3-8 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<sub>c</sub> - résiduel de consigne

R<sub>a</sub> - résiduel amont

d - débit de chlore à introduire

Q<sub>e</sub> - 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.

## **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.

## **4-1 Législation**

Actuellement la législation française relative aux retours d'eau est contenue dans les dispositions du Décret du 5 avril 1995 (N° 95-363) pris en application de la loi sur l'eau.

L'article 31 précise en particulier :

"Les installations intérieures 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 elles sont raccordés ou engendrer une contamination de l'eau distribuée. Ces installations ne peuvent, sauf dérogation, être alimentées par une eau issue d'une autre ressource."

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 (non diffusé au 1/1/98). 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.

## **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, ...

### **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.).

### **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 (page 34) énumère les principaux dispositifs de protection et leur symbolisation. De façon générale, on peut noter que :

- les appareils doivent être normalisés NF anti-pollution,
- 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'utilisateur.

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.


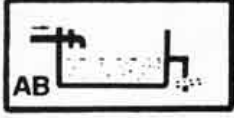
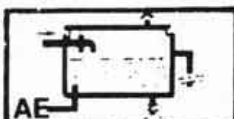
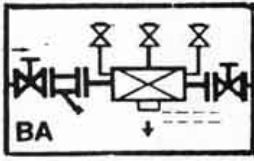
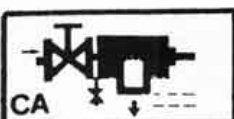




FAMILLE ET TYPE	SYMBOLISATION	OBSERVATIONS ET EXEMPLES D'UTILISATION
Dispositif de surverse totale		Lavabo Ces surverses non protégées ne conviennent pas pour des utilisations sanitaires et/ou alimentaires.
Dispositif de surverse par trop plein		WC avec réservoir de chasse.
Dispositif de surverse sanitaire/alimentaire		Ne peut être mis en oeuvre que si les contrôles prévus par le Règlement Sanitaire Départemental sont effectués.
Disconnecteur à zone de pression réduite Contrôlable NF Antipollution		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.
Disconnecteur à zone de pression différente Contrôlable NF Antipollution		Dispositif de chauffage type familial avec vase d'expansion fermé sous pression.
Clapet de non retour Classe A Contrôlable NF Antipollution		Branchement sur le réseau public
Soupape anti-vide - d'équerre - droite		Flexible de douche
Disconnecteur d'extrémité		Robinets de cour
Vanne à 3 voies à disconnexion atmosphérique		Liaison entre une ressource privée (forage, puits) et le réseau public

Tableau 10 : Principaux dispositifs de protection et symbolisation

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

# 4

## 1) Le suivi de la qualité de l'eau dans les réseaux

### 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°91-257 du 7 mars 1991 modifiant et complétant celui du 3 janvier 1989, n° 89-3.

Ces dispositions sont reprises dans le Code de la Santé Publique (Première partie - Livre 1er - Titre 1er Mesures Sanitaires Générales)

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

#### Contrôle réglementaire

L'article 8 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.

Les frais de prélèvement sont à la charge de l'exploitant. Les tarifs et modalités en sont fixés par l'arrêté interministériel du 21/12/92 (J.O. de Janvier 1993).

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

Pour les échantillons prélevés en distribution, le type d'analyse de type D imposé par la législation est le suivant :

ANALYSES	
Bactériologique Type B2	Physico-chimique Type C1
Coliformes thermotolérants Streptocoques fécaux Dénombrement des bactéries aérobies revivifiables à 22°C et 37°C	Aspect qualitatif : odeur, saveur, couleur Turbidité Ph, conductivité  Chlore résiduel ou tout autre paramètre représentatif du traitement de désinfection

Population desservie (habitants)	Analyse de Type D Eau distribuée	
	non désinfectée	désinfectée
500	2	4
2 000	6	-
5 000	12	-
10 000	24	24
30 000	60	-
50 000	90	-
100 000	150	240
150 000	210	-
300 000	390	720
Pour les populations inférieures à 500 habitants, le nombre d'analyses D est égal à 2 dans le cas d'eaux non désinfectées et à 4 dans le cas d'eaux désinfectées		
Pour les populations supérieures à 500 habitants, le nombre d'analyses à effectuer est obtenu par interpolation linéaire entre les chiffres fixés dans les colonnes, le chiffre étant arrondi à la valeur entière la plus proche.		
Pour les populations supérieures à 300 000 habitants, le nombre d'analyses à effectuer est obtenu par extrapolation linéaire, le chiffre étant arrondi à la valeur entière la plus proche.		

Tableau 11 : Fréquences annuelles d'analyses de l'eau distribuée

#### Autosurveillance

La notion d'autocontrôle est spécifiée à l'article 13 "l'exploitant est tenu de surveiller en permanence la qualité des eaux destinées à la consommation humaine". 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 "l'exploitant tient à la disposition du directeur départemental des affaires sanitaires et sociales les résultats des vérifications qu'il a opérées pour surveiller la qualité des eaux ainsi que les autres informations en relation avec la qualité".

En complément de ces dispositions, la loi sur l'eau de janvier 1992 crée l'obligation aux maires d'afficher les résultats d'analyses. (Art. 13 III) (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.

### **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).

### **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 problème 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'accessibilité 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.

### 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 48H.

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 :

- C'est pourquoi 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 coliformes 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 glucosé à 44°C).
- D'autres prototypes avaient été mis au point dans le courant des années 80 mais sans débouché 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 amélioré si les moyens d'action appropriés dans ce cas sont mis en oeuvre.

#### **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.

## **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.

### 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.

### 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, ...

### **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 noeuds 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 noeuds, 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 Al-Col, modèle statistique donnant une estimation de la contamination de l'eau distribuée par les coliformes 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.

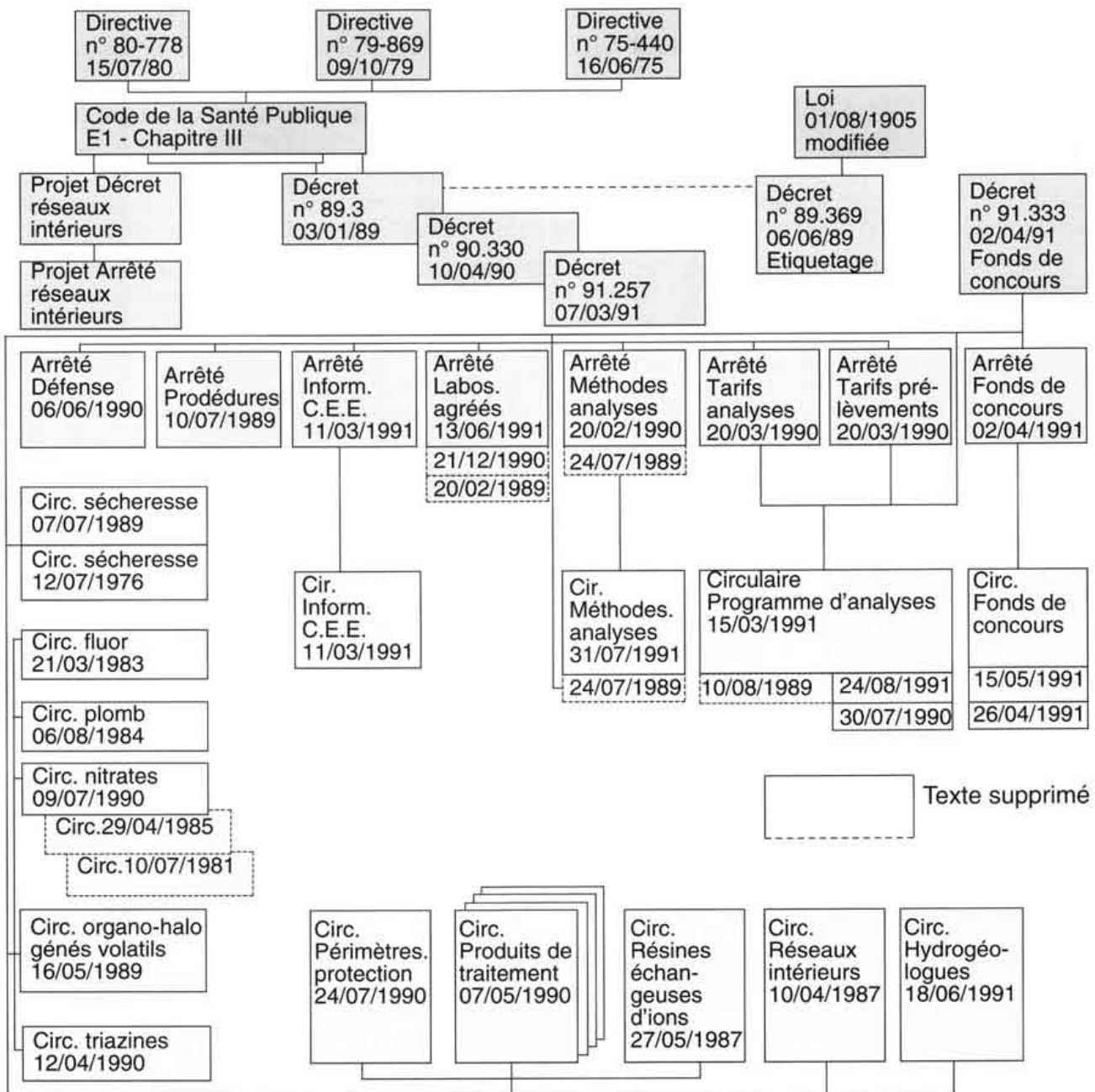
- Le modèle EAUCEANIX développé par la CISE propose également un module qualité.

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 FAAST (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 chlore-azote organique) en fonction de la température, de la nature des tuyaux, du diamètre...

## ANNEXE 1

### PRINCIPAUX TEXTES RELATIFS AUX EAUX DESTINEES A LA CONSOMMATION HUMAINE (d'après TRICARD et BUFFAUT - 1991)



## 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 :

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

- à 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.

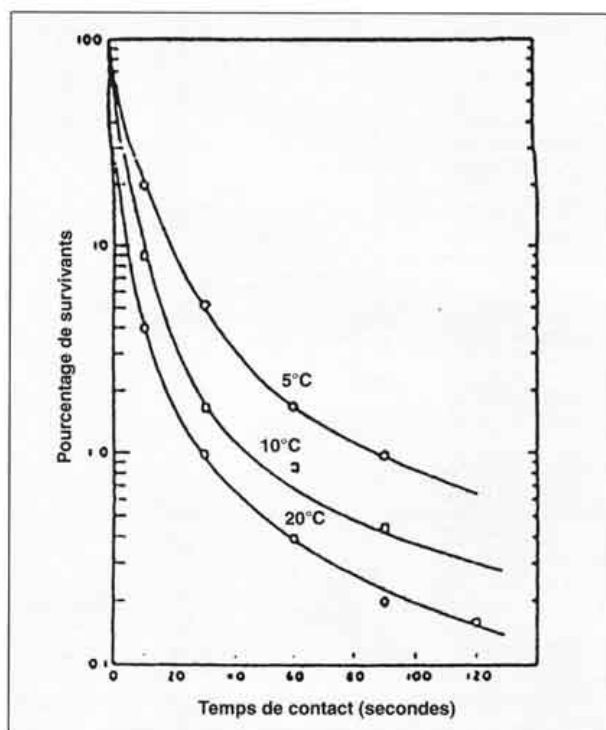
Le tableau 12 présente les facteurs influençant le CT pour différents désinfectants vis-à-vis de Giardia.

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. On en montre un exemple sur la Figure 4 (ROY - 1981 cité par BOISDON - 1995).

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	25
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 µg/l (Hg) |
| - Cadmium                  | 1 µg/l (Cd)   |
| - Sélénium                 | 2 µg/l (Se)   |
| - Antimoine                | 2 µg/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 %