

Etude d'un réseau à très faible teneur en matière organique biodégradable : le réseau de la ville de Nice

Study of a distribution network with a very low level of dissolved organic matter: the network of Nice

Y. Lévi, G. Randon, C. Denojean, A. Pagliardini, G. Vajente and H. Champsaur

Volume 5, Special Issue, 1992

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/705162ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/705162ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

Université du Québec - INRS-Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE)

ISSN

0992-7158 (print)

1718-8598 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Lévi, Y., Randon, G., Denojean, C., Pagliardini, A., Vajente, G. & Champsaur, H. (1992). Etude d'un réseau à très faible teneur en matière organique biodégradable : le réseau de la ville de Nice. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 5, 225–243. <https://doi.org/10.7202/705162ar>

Article abstract

Within the more general scope of studies aiming at a better knowledge of the mechanisms responsible for biological biodegradation in water systems, it was interesting to learn the microbiological behaviour of a drinking water network supplied with water free of biodegradable organics. The case in point is the town of Nice which enjoys excellent quality water resources, to the extent that the Compagnie Générale des Eaux, managers of the municipal water utility, were able to apply ozonation as a disinfectant when the technique first appeared at the beginning of the century, and supply chlorine free water.

The Municipal Services of the Town of Nice, the Nice Health Laboratory and the Compagnie Générale des Eaux have therefore combined forces to carry out a study on the development of water quality in the supply network in such an animal environment. The objective is to make a complete diagnosis of the microbiological and hygienic quality of a chlorine-free network which would confirm the excellent quality of the distributed water and serve as a reference within the scope of general research on the removal of biodegradable organics for the supply of non chlorinated water.

The study consisted of monitoring three supply systems fed by three different water works :

- the Super Rimiez plant treating water from the river Vésubie in the following stages : flocculation, primary clarification, sand filtration and virucidal ozonation;

- the Jean Moreno plant : water pumped from the alluvion layers of the Var and ozonated;

- the Prairies plant : pumping and temporary chlorination of the Var aquifer with chlorine dioxide.

In order to take seasonal variations into account, our study lasted for a whole year, with sampling campaigns every two weeks on 20 observation points along the network, and on the raw water treated in three production plants. The physico-chemical and microbiological characteristics of the water samples were analyzed.

Samples were collected at a high flow rate from fire hydrants near the observation points. The sediments were gathered in a plankton net and analyzed to detect the presence of possible animalcules.

The immersion of PVC coupons in two reservoirs, fed respectively with the two types of water, enabled the growth kinetics of fixed bacteria to be followed, and the quantities of fixed biomass at steady state to be compared.

It was possible, by monitoring the chloride content (on average 25 mg Cl⁻/l in Var water compared with 5 mg Cl⁻/l in Vésubie water), to identify the precise influence of the two water resources.

Total bacteria measured by epifluorescence are not very high compared with networks in other large towns. It will be noted, however, that the figure is higher in the network supplied from the Vésubie than in those treating water from the Var aquifer. Bacterial regrowth in circulating water is minor, showing that the influence of bacteria released by the biofilm installed on the pipe walls is minimized. This biofilm is present just the same, as is shown by the results of colonization on the immersed coupons in reservoirs.

The quantity of fixed bacteria at steady state is different according to the type of water but, in both cases, it was lower than the figure obtained with water loaded with biodegradable organics. The total plate count remains low on the whole, even at end sections of the network. The presence of fecal bacteria was only observed at a few points during some of the studies and the Nice network, on the whole, is of excellent quality judged by the very few fecal contamination indicators found.

The presence of *Aeromonas hydrophila* was detected in very small quantities and at a few of the sampling points only. Analyses of Dissolved Organic Carbon (on average 0.3 mgCl) and Biodegradable Dissolved Organic Carbon (less than 0.1 mgCl, by the minimum detection threshold method) reveal a very low concentration in organics and a total absence of BDOC on all sampling points, thus confirming the good quality of the water supplied and the fact that these is very little bacteria) remise and contamination while the water is in transit.

Examination of the sediments in water mains and at the bottom of reservoirs did not reveal the existence of higher forms of microorganisms.

This complete diagnosis of the microbiological and health condition of the Nice water system has brought confirmation of the good quality of the water supplied throughout its transit in the water mains. The lack of chlorination does not cause a deterioration of the bacteriological quality of the water, the sustainable quality of which is essentially linked with the absence of BDOC which restricting the growth of bacteria.

The importance of these findings on such a distinctive network as that of the Nice utility will enable this study to be used as reference for future research on the means of maintaining the quality of water in supply networks without using chlorine.

Etude d'un réseau à très faible teneur en matière organique biodégradable : le réseau de la ville de Nice

Study of a distribution network with a very low level of dissolved organic matter : the network of Nice

Y. LÉVI¹, G. RANDON^{1*}, C. DENOJEAN², A. PAGLIARDINI², G. VAJENTE³, H. CHAMPSAUR²

Reçu le 12 novembre 1991, accepté pour publication le 30 septembre 1992*.

SUMMARY

Within the more general scope of studies aiming at a better knowledge of the mechanisms responsible for biological biodegradation in water systems, it was interesting to learn the microbiological behaviour of a drinking water network supplied with water free of biodegradable organics. The case in point is the town of Nice which enjoys excellent quality water resources, to the extent that the Compagnie Générale des Eaux, managers of the municipal water utility, were able to apply ozonation as a disinfectant when the technique first appeared at the beginning of the century, and supply chlorine free water.

The Municipal Services of the Town of Nice, the Nice Health Laboratory and the Compagnie Générale des Eaux have therefore combined forces to carry out a study on the development of water quality in the supply network in such an unusual environment. The objective is to make a complete diagnosis of the microbiological and hygienic quality of a chlorine-free network which would confirm the excellent quality of the distributed water and serve as a reference within the scope of general research on the removal of biodegradable organics for the supply of non chlorinated water.

The study consisted of monitoring three supply systems fed by three different water works :

- the Super Rimiez plant treating water from the river Vesubie in the following stages : flocculation, primary clarification, sand filtration and virucidal ozonation ;
- the Jean Moreno plant : water pumped from the alluvion layers of the Var and ozonated ;
- the Prairies plant : pumping and temporary chlorination of the Var aquifer with chlorine dioxide.

1. Compagnie Générale des Eaux, 63, rue d'Anjou, 75008 Paris.
2. Laboratoire Municipal et Régional de la Ville de Nice, 8, rue de l'Hôtel des Postes, 06000 Nice.
3. Compagnie Générale des Eaux, 144, boulevard de Cessole, 06000 Nice.

* Les commentaires seront reçus jusqu'au 30 juin 1993.

In order to take seasonal variations into account, our study lasted for a whole year, with sampling campaigns every two weeks on 20 observation points along the network, and on the raw water treated in three production plants. The physico-chemical and microbiological characteristics of the water samples were analyzed.

Samples were collected at a high flow rate from fire hydrants near the observation points. The sediments were gathered in a plankton net and analyzed to detect the presence of possible animalcules.

The immersion of PVC coupons in two reservoirs, fed respectively with the two types of water, enabled the growth kinetics of fixed bacteria to be followed, and the quantities of fixed biomass at steady state to be compared.

It was possible, by monitoring the chloride content (on average 25 mg Cl⁻/l in Var water compared with 5 mg Cl⁻/l in Vésubie water), to identify the precise influence of the two water resources.

Total bacteria measured by epifluorescence are not very high compared with networks in other large towns. It will be noted, however, that the figure is higher in the network supplied from the Vésubie than in those treating water from the Var aquifer. Bacterial regrowth in circulating water is minor, showing that the influence of bacteria released by the biofilm installed on the pipe walls is minimized. This biofilm is present just the same, as is shown by the results of colonization on the immersed coupons in reservoirs.

The quantity of fixed bacteria at steady state is different according to the type of water but, in both cases, it was lower than the figure obtained with water loaded with biodegradable organics. The total plate count remains low on the whole, even at end sections of the network. The presence of fecal bacteria was only observed at a few points during some of the studies and the Nice network, on the whole, is of excellent quality judged by the very few fecal contamination indicators found.

The presence of *Aeromonas hydrophila* was detected in very small quantities and at a few of the sampling points only.

Analyses of Dissolved Organic Carbon (on average 0.3 mgC/l) and Biodegradable Dissolved Organic Carbon (less than 0.1 mgC/l, by the minimum detection threshold method) reveal a very low concentration in organics and a total absence of BDOC on all sampling points, thus confirming the good quality of the water supplied and the fact that there is very little bacterial release and contamination while the water is in transit.

Examination of the sediments in water mains and at the bottom of reservoirs did not reveal the existence of higher forms of microorganisms.

This complete diagnosis of the microbiological and health condition of the Nice water system has brought confirmation of the good quality of the water supplied throughout its transit in the water mains. The lack of chlorination does not cause a deterioration of the bacteriological quality of the water, the sustainable quality of which is essentially linked with the absence of BDOC which restricting the growth of bacteria.

The importance of these findings on such a distinctive network as that of the Nice utility will enable this study to be used as reference for future research on the means of maintaining the quality of water in supply networks without using chlorine.

Key-words : *distribution system, water, microbiology, quality, diagnosis, Biodegradable Dissolved Organic Carbon (BDOC), biofilm, reservoir, Nice, France.*

RÉSUMÉ

La Ville de Nice bénéficie de deux ressources en eau d'excellente qualité, la Vésubie et la nappe alluviale du Var, qui se caractérisent par leur très faible teneur en matière organique biodégradable. La Compagnie Générale des Eaux, gestionnaire de son alimentation en eau potable, applique depuis sa mise au point au début du siècle le procédé de désinfection par l'ozone et distribue une eau sans ajouter de chlore.

Un diagnostic complet de la qualité microbiologique et sanitaire de ce réseau non chloré et sans Carbone Organique Dissous Biodégradable (CODB) a été entrepris.

Le suivi de la qualité de l'eau dans le réseau a consisté en des campagnes de prélèvements à partir de plusieurs points d'observation répartis sur l'ensemble du réseau. Ce suivi a permis de confirmer la bonne qualité de l'eau distribuée et le maintien de cette qualité tout au long de son transport dans les canalisations. Le CODB est absent sur l'ensemble des points confirmant l'absence de relargage et de contamination pendant le transport.

La récupération des dépôts présents dans les canalisations n'a pas révélé de colonisation du réseau par des micro-organismes supérieurs. La quantité de biofilm présente sur les parois des canalisations a été évaluée en suivant la colonisation de pastilles de matériau immergées dans les réservoirs.

Ce diagnostic complet de l'état microbiologique et sanitaire du réseau de Nice montre que l'absence de chloration n'entraîne pas de dégradation de la qualité bactériologique de l'eau et que c'est essentiellement l'absence de matière organique biodégradable qui limite la croissance bactérienne et qui contribue au maintien de la qualité de l'eau dans le réseau de distribution.

Mots clés : réseau, eau, microbiologie, qualité, diagnostic, carbone organique dissous biodégradable (CODB), biofilm, réservoir, Nice, France.

1 - INTRODUCTION

La Ville de Nice, comme quelques autres grandes municipalités en France (Mulhouse, Strasbourg, Colmar, Grenoble) ou en Europe (Amsterdam, Karlsruhe), a l'avantage de pouvoir distribuer à ses abonnés une eau sans chlore s'affranchissant ainsi des problèmes liés à ce traitement : apparition de sous-produits de chloration indésirables (KRASNER *et al.*, 1989), entraînant des risques mutagènes ou des détériorations de la qualité organoleptique (GAUTHIER *et al.*, 1989, LEVI et JESTIN, 1988).

Néanmoins de nombreuses autorités techniques, scientifiques et sanitaires en Europe, mais surtout aux Etats-Unis ne peuvent admettre qu'un réseau de distribution ne contienne pas de chlore. A cet égard, l'Agence pour la Protection de l'Environnement aux USA (USEPA) impose un résiduel de plus de 0,2 mg/l de chlore en réseau alors que la réglementation française ne présente aucun texte indiquant une teneur obligatoire. Il est simplement spécifié une teneur inférieure à 0,1 mgCl₂/l en situation normale et minimale de 0,2 mgCl₂/l en cas de situation exceptionnelle (J.O. du 29/7/89). Malgré

l'expérience de l'arrêt de la chloration d'une ville comme Amsterdam (SCHELLART, 1986), un doute survient dans les esprits à l'idée qu'une grande agglomération puisse posséder un réseau sanitaire sans reproche tout en ne présentant pas de traces de désinfectant.

Il était donc important de confirmer la bonne qualité générale de l'eau distribuée et l'absence d'une dégradation sur le plan microbiologique en réalisant un diagnostic approfondi des qualités microbiologiques d'un réseau de distribution alimenté par une eau non chlorée ne contenant pas de Carbone Organique Dissous Biodégradable (CODB).

VAN DER KOOIJ et HIJNEN (1985) avaient fixé une valeur limite de Carbone Organique Assimilable en deçà de laquelle les croissances bactériennes sont naturellement limitées. En était-il ainsi sur le réseau ?

Sur une année complète le suivi microbiologique du réseau a consisté en :

- des campagnes de prélèvement effectuées tous les 15 jours à différents points d'observation répartis sur l'ensemble du réseau,
- des récupérations de dépôts présents dans les canalisations et dans les réservoirs pour analyses et observations microscopiques pour la recherche de micro-organismes,
- des observations de la biomasse fixée sur les parois des canalisations par le suivi de la colonisation de supports artificiels mis en place dans les réservoirs.

Connaissant la particularité de ce réseau sans CODB et sans chlore, les auteurs ont cherché à établir, pour cette étude, une référence pour les programmes de recherche portant sur l'amélioration de la qualité des eaux distribuées.

2 - MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 Les campagnes de prélèvements en réseau

Les deux ressources en eau sont :

- l'eau de la rivière Vésubie amenée à l'usine de traitement de Super Rimiez par le Canal de la Vésubie,
- l'eau de la nappe alluviale du Var.

3 usines alimentent la population niçoise en eau potable :

- l'usine de Super Rimiez qui traite les eaux du Canal de la Vésubie. C'est une usine de traitement d'eau de surface qui met en œuvre la filière suivante : floculation aux sels d'aluminium, décantation, filtration rapide sur sable, ozonation.
- l'usine « Jean Moréno » où les eaux de la nappe alluviale du Var captées par le champ de captage des Sagnes sont uniquement ozonées.

– l'usine « des Prairies » où les eaux de cette même nappe du Var en provenance du champ de captage des Prairies sont temporairement légèrement traitées au bioxyde de chlore (taux de traitement moyen de 0,15 mgCl₂/l) avant le raccordement prochainement prévu à l'usine d'ozonation « Jean Moréno ».

Les études en réseau de distribution présentent une complexité liée à la recherche du meilleur rapport entre le nombre statistiquement représentatif de points de prélèvements et de campagnes d'analyses et le coût rapidement exponentiel de l'ensemble.

Les points de prélèvement pour l'observation de la qualité physico-chimique et microbiologique de l'eau distribuée ont été choisis en tenant compte des 3 sous-réseaux constitués par les zones d'influence des 3 sites de production d'eau potable.

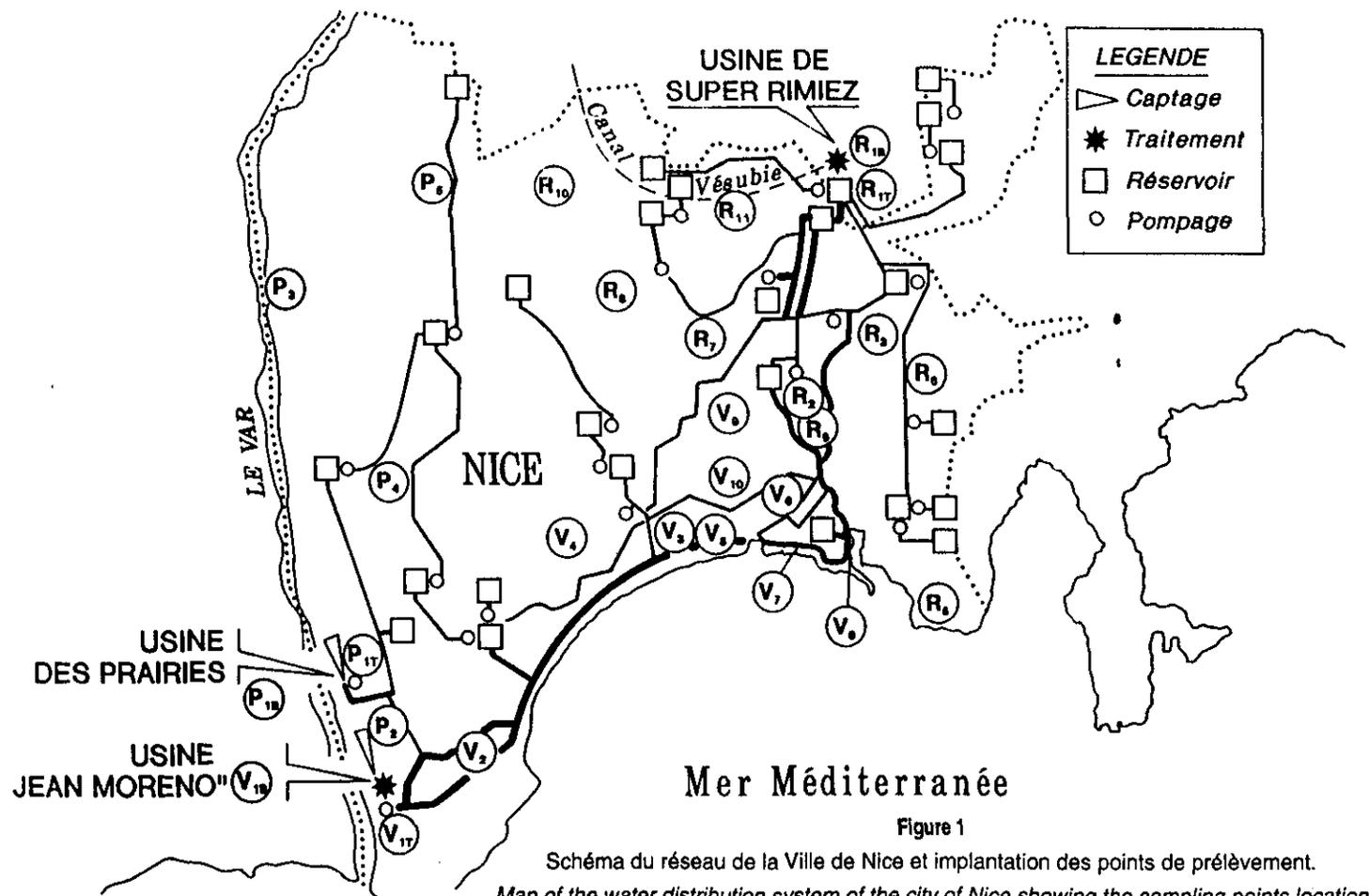
Les réseaux alimentés par les usines « Jean Moréno » et « Super Rimiez » ont fait l'objet d'un suivi à partir de 9 points d'observation supposés être situés dans les zones d'influence de ces réseaux et notés respectivement V et R. Le réseau alimenté par l'usine « des Prairies », beaucoup moins étendu, a été suivi à partir de 4 points d'observation notés P. Les eaux brutes et traitées des usines ont aussi été prises en compte. Les sites de prélèvement ont été choisis, pour des facilités d'accès, dans des établissements publics (écoles, crèches, piscines, mairie) répartis sur l'ensemble du réseau. Les préleveurs ont pris soin de purger suffisamment le volume mort constitué par le branchement pour éviter les contaminations possibles et n'intéresser que l'eau du réseau public.

Leurs emplacements approximatifs sont portés sur le schéma du réseau présenté à la figure 1. Les campagnes de prélèvement ont été réalisées d'avril 90 à février 91 à raison d'une campagne tous les 15 jours, soit un total de 20 campagnes.

2.2 Les analyses physico-chimiques et bactériologiques

Le programme analytique a porté sur les analyses physico-chimiques et bactériologiques suivantes :

- Température.
- Turbidité.
- Résiduel de dioxyde de chlore sur le réseau alimenté par l'usine des Prairies : dosage du résiduel de chlore total par la méthode colorimétrique à la N-N-diéthyl-phénylène-1.4 diamine (DPD).
- Chlorures par la méthode colorimétrique au thiocyanate mercurique/nitrate de fer. Ce paramètre a servi de traceur dans le réseau pour différencier les deux types d'eau : l'eau d'origine Vésubie dont la teneur moyenne est de 3 mgCl⁻/l et l'eau d'origine Var qui présente une teneur plus élevée de 25 mgCl⁻/l en moyenne.
- Demande en chlore par ajout d'une quantité titrée d'eau de Javel (de l'ordre de 0,5 mgCl₂/l) à 250 ml d'eau à analyser et dosage par colorimétrie à la DPD du chlore résiduel libre après 2 h de temps de contact. La demande en chlore sur 2 h est obtenue par la différence entre la concentration initiale de chlore appliqué et la concentration finale de chlore restant.



- Germes aérobies revivifiables sur gélose nutritive ordinaire (Nutrient Agar Merck réf. 5450) à 22 °C et 37 °C.

- Germes indicateurs de contamination fécale : coliformes totaux et coliformes thermotolérants, streptocoques fécaux.

- Germes totaux par épifluorescence : la totalité des bactéries vivantes, inactivées et mortes est dénombrée par microscopie à épifluorescence après coloration à l'acridine orange.

- Recherche d'*Aeromonas hydrophila* par la méthode de HAVELAAR et VONK (1988) : cette recherche particulière a été effectuée car la présence de cette bactérie a été décelée dans le réseau non chloré de la Ville d'Amsterdam.

2.3 Le carbone organique dissous biodégradable (CODB)

Le CODB est un paramètre fondamental de contrôle des phénomènes de reviviscence bactérienne dans les réseaux. Il représente la part des matières organiques dissoutes assimilables par les bactéries et constitue de ce fait une base de nourriture pour les micro-organismes, favorisant ainsi leur développement.

Il est évalué selon la méthode originale de JORET *et al.* (1989) qui consiste à suivre la décroissance du Carbone Organique Dissous (COD) dans l'échantillon mis en présence d'une population bactérienne fixée sur un support constitué de sable ensemencé. Lorsque la teneur en COD n'évolue plus, en général après 5 à 6 jours d'incubation, le CODB est calculé par différence entre le COD initial et le COD final qui représente alors le Carbone Organique Dissous Réfractaire (CODR).

La limite de détection de la méthode est de 0,1 mgC/l.

2.4 Les prélèvements de dépôts dans les canalisations

Ces dépôts sont récupérés par soutirage à fort débit (60 m³/h) sur les poteaux et les bouches d'incendie (CHARPENTIER et COURCIER, 1989).

Les particules sont recueillies, pendant la première minute du soutirage, dans un filet à plancton de maille 100 µm puis conservées dans une solution de formol à 5 %, et observées au microscope.

2.5 La colonisation de supports installés dans les réservoirs

Il est impossible, compte tenu des technologies actuellement existantes dans les laboratoires spécialisés, de quantifier les biofilms bactériens directement à la surface interne des canalisations. Pour contourner ce problème, nous avons décidé de travailler à partir de coupons de matériaux témoins immergés dans les cuves des réservoirs et permettant de simuler l'apparition du biofilm. 20 pastilles de PVC d'un diamètre de 2 cm ont été installées sur des supports immergés dans deux réservoirs choisis sur les réseaux alimentés par les deux différents types d'eaux.

L'objectif de ce type d'expérimentation consiste à suivre dans le temps la colonisation de ces pastilles par les populations bactériennes afin d'apprécier les vitesses de colonisation et la quantité de biomasse fixée à l'équilibre et ainsi de déceler d'éventuelles différences entre les deux types d'eaux choisis.

Le protocole est le suivant :

– immersion dans les réservoirs des supports auxquels sont accrochés 20 pastilles.

– retrait de 2 pastilles, pour duplication des mesures, à la fréquence suivante :

- 2 fois par jour (matin et après-midi) pour les jours J+1, J+2, J+3,

- 1 retrait à J+4 et J+5, J+8 et J+15.

La fréquence est plus importante les premiers jours pour bien observer le démarrage du processus de colonisation.

Les pastilles, conditionnées dans l'eau prélevée dans le réservoir, sont rapidement traitées au laboratoire pour le dénombrement par épifluorescence des bactéries totales fixées après décrochage de celles-ci par sonication pendant 2 mn selon la méthode mise au point pour les besoins de l'étude du développement des biofilms dans les canalisations menée à Nancy (HAUDIDIER-BORNERT, 1989).

3 - RÉSULTATS

3.1 Les demandes en oxydant

Le résiduel de bioxyde de chlore semble se maintenir sur le réseau des Prairies, le point le plus éloigné P5 présentant encore pour plus de la moitié des campagnes la présence significative d'un résiduel de bioxyde de chlore alors que le taux moyen de chloration en sortie d'usine (0,10 mgCl₂/l) est faible (fig. 2).

Ce résiduel a cependant pratiquement disparu au point P3 et au point P2 pourtant proche de l'usine. Pour ces points, l'explication peut être donnée par la consommation en chlore des longs réseaux intérieurs à l'extrémité desquels l'eau était prélevée.

Ce maintien d'un résiduel stable est favorisé par la faible demande en chlore des eaux distribuées à Nice qui accompagne généralement les eaux à très faible teneur en éléments organiques dissous. Il apparaît cependant que la demande en chlore moyenne est plus élevée pour l'eau du réseau Vésubie (0,07 mgCl₂/l, n = 160) que pour l'eau du réseau Var (0,03 mgCl₂/l, n = 240).

A titre de comparaison, la demande en chlore en 2 h a été mesurée en plusieurs points du secteur Nord du réseau du Syndicat des Eaux d'Ile de France en banlieue parisienne. Ce réseau est alimenté par une eau de surface traitée par la filière biologique de l'usine de Méry-sur-Oise qui contient en moyenne 1,5 mgC/l de COD.

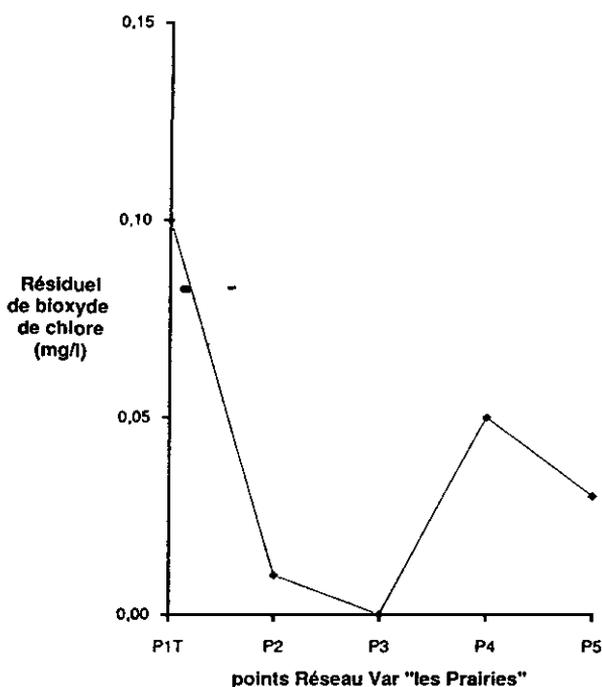


Figure 2 Résiduel moyen de bioxyde de chlore en chaque point de prélèvement du réseau P « Les Prairies ».

Mean chlorine dioxide residual at each sampling point of « Les Prairies » network.

La demande en chlore pour ce type d'eau est plus élevée et se situe en moyenne à 0,4 mgCl₂/l (n = 11) au cours de cette campagne.

La faible demande en chlore de l'eau dans le réseau de Nice confirme l'existence d'une relation entre ce paramètre et la teneur en matières organiques comme le montrent les travaux de l'Université de Poitiers sur ce sujet (JADAS-HECART, 1989).

3.2 Le carbone organique dissous (COD) et sa fraction bioéliminable

Les 8 campagnes consacrées à la mesure du COD et du CODB révèlent des teneurs très faibles en matières organiques dissoutes sur l'ensemble des points et confirment l'absence de CODB qui avait stimulé l'organisation de cette étude.

Les deux ressources en eau, Vésubie et nappe du Var, sont très peu chargées en composés organiques avec des teneurs moyennes respectives en COD de 0,6 mgC/l (n = 8) et 0,4 mgC/l (n = 16).

Les eaux traitées alimentant les 3 réseaux ont une faible teneur moyenne identique de 0,4 mg/l de COD et cette valeur n'évolue pas au cours du transport de l'eau dans le réseau de distribution.

Les rares valeurs mesurables n'excèdent pas 0,2 mgC/l, constituant au vu des études réalisées sur ce sujet (SERVAIS *et al.*, 1992), un seuil en deçà duquel la matière organique dissoute n'est plus accessible par les micro-organismes. La stabilité des paramètres COD et CODB dans le réseau indique non seulement une qualité extrême de l'eau mais aussi une absence de relargage ou de contamination pendant le transport. L'eau produite à un haut niveau de qualité maintient donc sa qualité dans le réseau et ce malgré les kilomètres de canalisations et les éventuelles introductions anormales pouvant se produire comme dans tous les réseaux des grandes agglomérations.

L'absence de CODB qui constitue la base de la nourriture pour les micro-organismes minimise ainsi les processus microbiologiques qui pourraient intervenir dans le réseau de distribution.

3.3 Les paramètres microbiologiques

3.3.1 Les germes totaux dénombrés par épifluorescence

La figure 3 représente la teneur en germes totaux dénombrés par épifluorescence en fonction de la teneur en chlorures de l'eau prélevée en chaque point pour l'ensemble des campagnes.

Il apparaît très nettement que le réseau alimenté par l'usine de Super Rimiez présente des numérations plus élevées que le réseau alimenté par la nappe du Var. Pour le réseau « Vésubie », les numérations varient de 2 000 à 63 000 germes par ml avec une moyenne de 20 200 germes par ml ($n = 160$), alors que pour le réseau « Var » la variation s'étend de 800 à 22 500 germes par ml, avec une moyenne de 3 200 germes par ml ($n = 240$). Pour les points « mélange », une décroissance, liée à la prépondérance de l'influence de l'eau « Var » dans le mélange des deux types d'eau, est observée.

Une autre exploitation de ces résultats permettant, à défaut de temps de séjour précis, de mettre en évidence le phénomène de croissance bactérienne dans le réseau, consiste à porter les numérations en germes totaux en fonction des diamètres des canalisations sur lesquelles les prélèvements ont été effectués.

Pour le réseau Vesubie (*fig. 4*), les numérations en germes augmentent significativement au cours du transport dans le réseau. Les valeurs moyennes calculées pour chaque classe de diamètre sont matérialisées par les carrés sur les graphiques.

A la sortie de l'usine de Super Rimiez (canalisation de $\varnothing 1\ 000$), la valeur moyenne se situe à 6 400 germes par ml pour varier de 20 000 à 25 000 germes par ml dans le réseau. Les valeurs les plus élevées sont obtenues dans les canalisations de petits diamètres entre 100 et 250 mm qui constituent le sous-réseau maillé. Cependant la valeur moyenne calculée pour le feeder de $\varnothing 500$ n'est pas significativement différente de celles obtenues pour ces petites conduites.

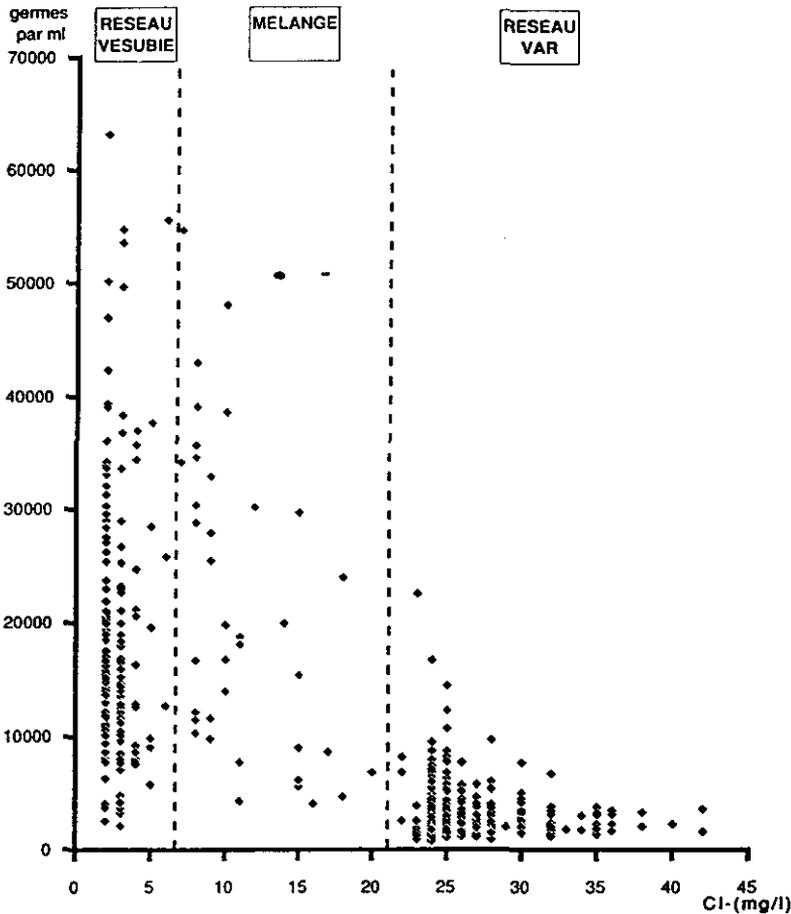


Figure 3 Relation entre la teneur en chlorures et la numération en germes totaux par épifluorescence.

Chloride concentration versus total bacteria measured by epifluorescence.

Pour le réseau Var (fig. 5), l'évolution des numérations par épifluorescence en fonction du diamètre des canalisations est nettement moins marquée que sur le réseau Vésubie, si l'on compare les valeurs moyennes qui varient de 2 600 germes par ml à la sortie des usines à des valeurs comprises entre 2 800 et 3 800 germes par ml dans le réseau.

Plusieurs études (SERVAIS *et al.*, 1990, VAN DER WENDE *et al.*, 1989) ont montré que les teneurs en bactéries circulantes sont essentiellement liées aux phénomènes de décrochage et de relargage de bactéries provenant du biofilm bactérien qui se développe sur les parois des canalisations et que, par conséquent, une forte teneur en germes reflète une croissance dans le réseau et non une recroissance de bactéries mal désinfectées à l'usine de production.

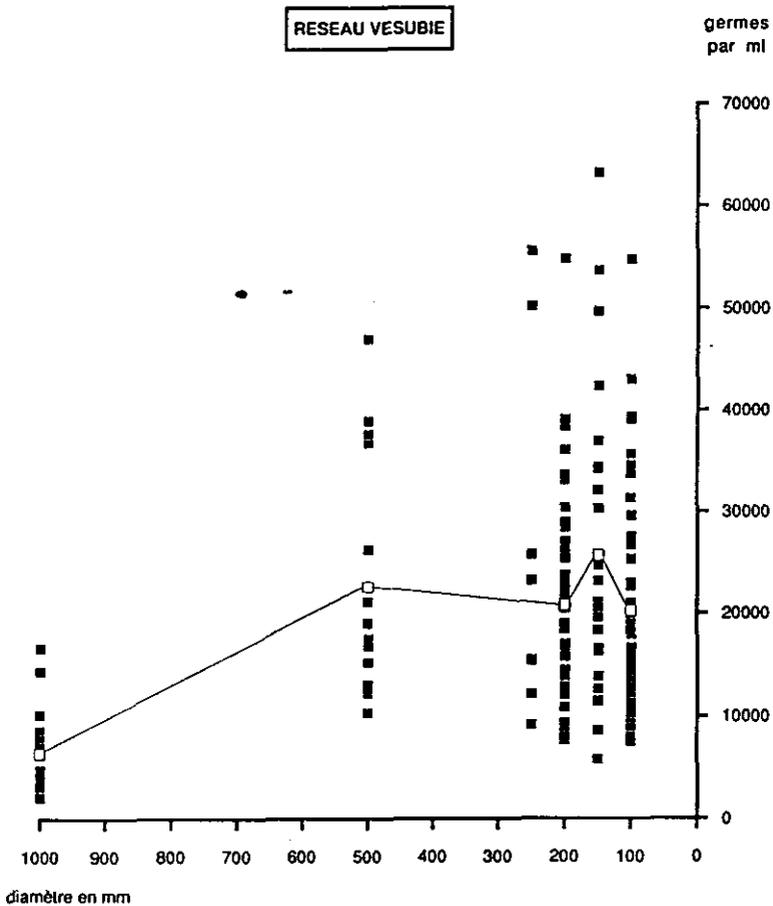


Figure 4 Réseaux Vésubie : germes totaux par épifluorescence en fonction du diamètre des canalisations.

Vésubie distribution network : total bacteria versus diameter of the pipes

Il est donc remarquable de noter le faible niveau de prolifération bactérienne totale et notamment pour le réseau Var qui montre véritablement une très grande stabilité.

Ces niveaux en germes totaux atteints dans le réseau Vésubie restent cependant peu élevés par comparaison avec ceux mesurés dans le réseau du Syndicat des Eaux d'Ile de France (Banlieue de Paris) comme le montre la figure 6 qui présente une comparaison des numérations moyennes en germes totaux de ces deux réseaux. Le point noté « E.T. » correspond à l'eau traitée en sortie d'usine.

La croissance bactérienne est plus forte sur le réseau de la Banlieue de Paris où l'eau est plus chargée en CODB (moyenne annuelle en sortie d'usine = 0,8 mgC/l). Il existe par ailleurs un écart d'un logarithme respectivement entre les réseaux Vésubie et Var et entre les réseaux du Secteur Nord de la Banlieue de Paris et Vésubie.

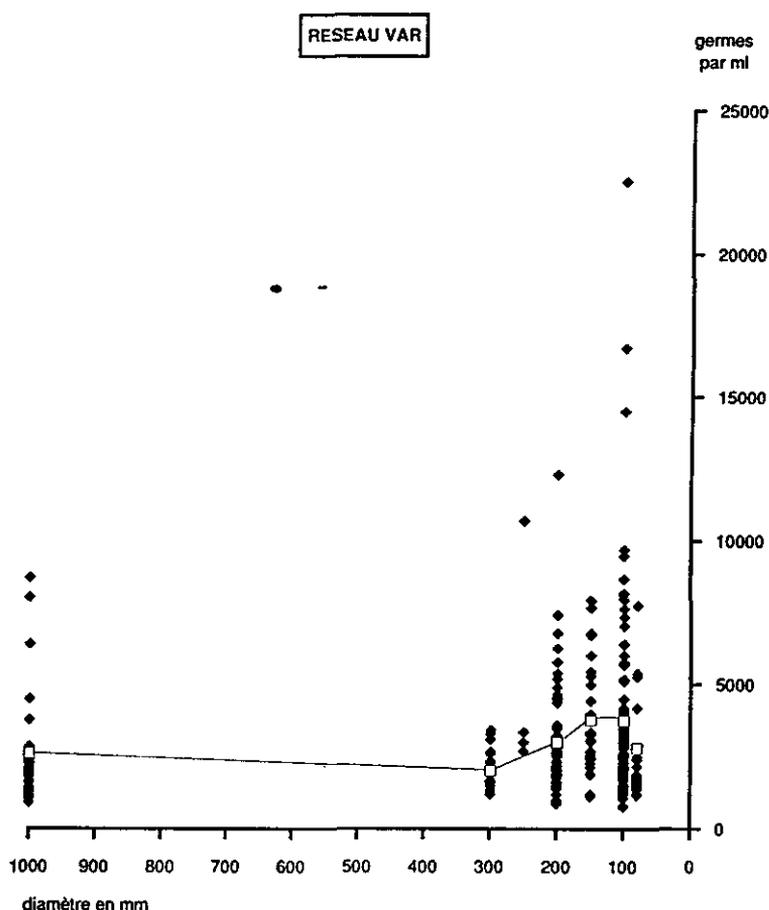


Figure 5 Réseau Var : germes totaux par épifluorescence en fonction du diamètre des canalisations.

Var distribution network : total bacteria versus diameter of the pipes.

3.3.2 Les germes aérobies revivifiables

La différence entre les deux réseaux est aussi bien marquée pour les germes à 22 °C/72 h (fig. 7) où les numérations pour le réseau Vésudie et l'ensemble des deux réseaux Var, sont respectivement de 273 germes par ml ($n = 160$) et 8 germes par ml ($n = 240$).

Il n'y a cependant pas de différence significative en ce qui concerne les dénombrements de germes à 37 °C. Les moyennes se situent à 5 germes par ml pour le réseau Vésudie ($n = 160$) et 3 germes par ml pour les réseaux Var ($n = 240$) ce qui est véritablement excellent. Les valeurs les plus fortes sont du même ordre de grandeur et se situent à une centaine de germes par ml pour 3 % des échantillons.

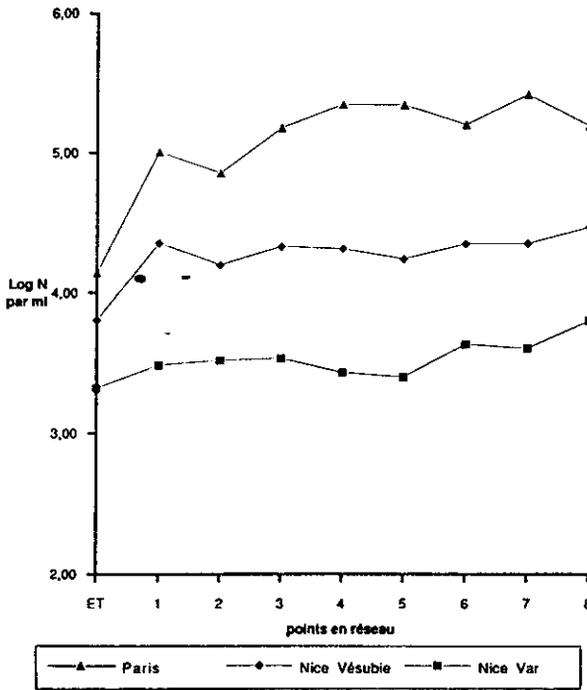


Figure 6 Comparaison des numérations en germes totaux par épifluorescence dans les réseaux de la Banlieue de Paris et de Nice.

Comparison of total bacteria in the Paris Suburbs and Nice distribution networks.

3.3.3 Les germes indicateurs de contamination fécale et la recherche particulière d'*Aeromonas hydrophila*

– Les eaux brutes de la nappe du Var avant traitement de désinfection se caractérisent par l'absence totale de germes indicateurs de contamination fécale. La présence d'*Aeromonas hydrophila* en très faible quantité (de 1 à 4 colonies dans 100 ml) a été relevée sur les eaux brutes des deux forages (19 analyses positives sur 40 échantillons prélevés). Dans les réseaux correspondant, la présence de cette bactérie n'apparaît en aucun point et les germes indicateurs de contamination fécale sont quasiment absents : 3 analyses positives sur les 240 échantillons prélevés au cours de l'étude.

– L'eau brute du canal de la Vésubie, comme toute eau de surface, présente des numérations élevées en germes indicateurs de contamination fécale qui sont totalement éliminés par le traitement de désinfection par l'ozone appliqué à l'usine de Super Rimiez. Le réseau Vésubie présente un nombre plus élevé de résultats positifs que les réseaux Var : 18 échantillons sur 160 prélevés, en notant toutefois que 12 échantillons sur ces 18 positifs concernent uniquement le point R11 (présence de quelques coliformes dans 100 ml) pour lequel une investigation particulière a été entreprise.

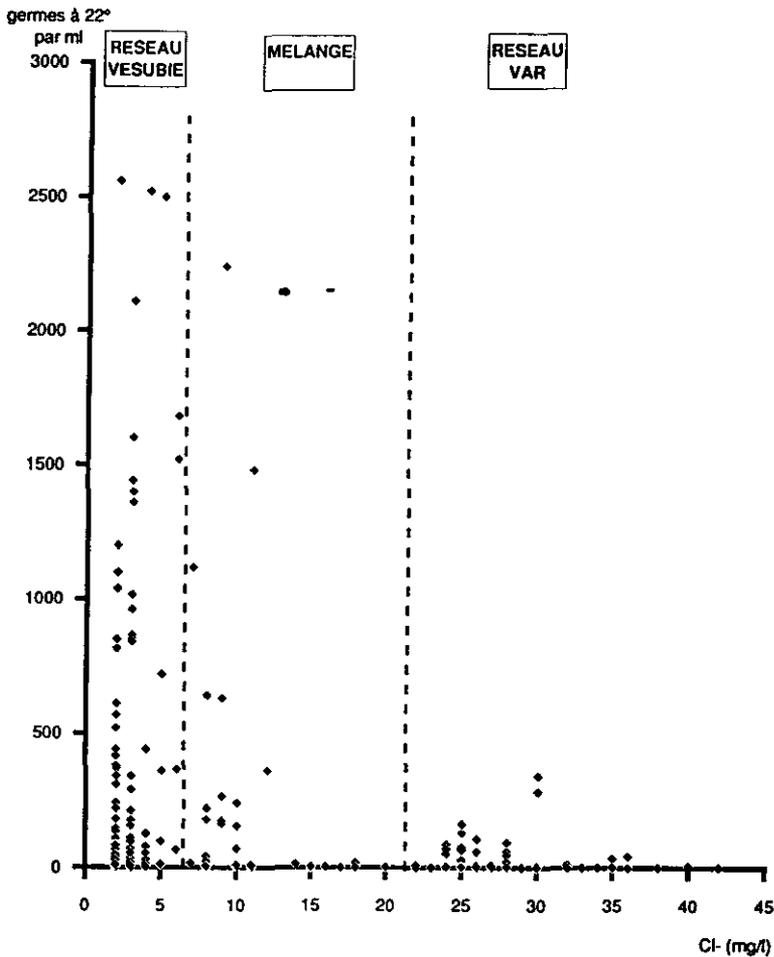


Figure 7 Germes revivifiables à 22 °C en fonction de la concentration en chlorures.

22 °C total plate count versus chloride concentration.

La présence d'*Aeromonas hydrophila*, à raison de 1 à 20 colonies dans 100 ml, a pu être relevée en quelques points du réseau Vésubie (points R5, R6 et R11), soit 15 résultats positifs sur 160 analyses.

Il est remarquable de constater qu'aucun coliforme thermotolérant n'a été détecté sur les 400 échantillons qui ont pu être analysés sur l'ensemble du réseau de Nice pendant toute la durée de l'étude.

De tels résultats obtenus sur une année montrent clairement la qualité optimale de l'eau pourtant distribuée non chlorée.

3.3.4 Croissance des biofilms

Deux campagnes ont été réalisées en période froide en Novembre 1990 et Février 1991 à partir de pastilles de PVC installées dans les réservoirs de « La Lanterne » sur le réseau Var et de « Cap de Croix » sur le réseau Vésubie. La figure 8 présente les courbes d'évolution de la biomasse fixée exprimée par le logarithme des germes totaux dénombrés par cm^2 en fonction du temps d'immersion des pastilles. A titre comparatif, les résultats de colonisation de pastilles installées sur les boucles du réseau expérimental de Nancy, extraits de la thèse de HAUDIDIER-BORNERT (1989), figurent sur le même graphique.

L'allure générale des différentes courbes apparaît similaire et une croissance de la biomasse fixée est observée pendant les 4 à 5 premiers jours, suivie d'une stabilisation de la croissance bactérienne.

La biomasse fixée sur les supports installés dans l'eau du réseau Var est moins dense que celle fixée sur les supports immergés dans l'eau du réseau Vésubie. La colonisation des supports installés dans les boucles du pilote de Nancy est, quant à elle, à un niveau supérieur. La densité du biofilm présent sur les parois des canalisations apparaît donc bien liée à la quantité de matières organiques biodégradables dans l'eau qui alimente le réseau, les eaux véhiculées dans le réseau expérimental de Nancy ayant une teneur non négligeable en CODB.

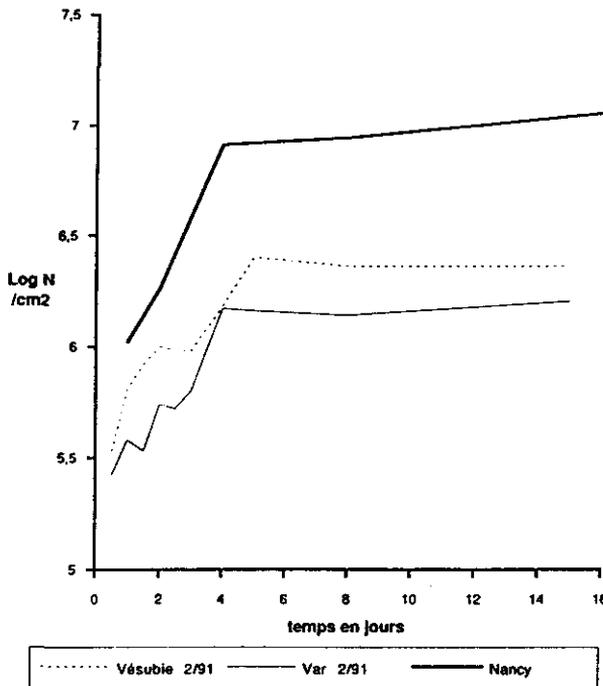


Figure 8 Colonisation des pastilles de matériau immergées dans les réservoirs.
Colonization of immersed coupons of materials in the reservoirs.

3.4 Les dépôts présents dans les canalisations

Les dépôts présents sont essentiellement d'origine minérale : sable, cailloux de différentes tailles, particules d'oxyde de fer provenant de l'arrachage des particules d'oxyde de fer de la paroi des canalisations constituées de fonte non revêtue, et seuls quelques floccs composés de bactéries filamenteuses non identifiés ont pu être observés aux points R5, R8, R9, R11. Les seuls organismes non microbiens présents dans les dépôts sont des diatomées aux points R8 et R11, et quelques débris identifiés comme des restes de carapaces de crustacés (ou d'insectes) et de coquilles de gastéropodes : points R10, P1T, P5.

Ces débris d'organismes relevés uniquement dans le réseau alimenté par les eaux de la nappe du Var peuvent provenir d'animalcules présents au niveau des captages et envoyés dans le réseau par l'intermédiaire des groupes de pompes, les usines ne disposant pas de dispositifs de filtration. Aucun organisme vivant n'a été identifié démontrant ainsi l'absence de colonisation du réseau par des animalcules de types crustacés (aselles) ou vers (naïs).

4 - CONCLUSION

L'hypothèse selon laquelle l'absence de CODB minimiserait les phénomènes de croissance bactérienne dans les eaux distribuées par suppression de la source primaire d'énergie constituée par les composés carbonés, devait être confirmée par l'étude d'un réseau réel. Les deux ressources en eau de la Ville de Nice se caractérisent par leur très faible teneur en matières organiques (COD) et par l'absence de matières organiques assimilables par les bactéries (CODB). C'est pourquoi cette étude a été menée sur le réseau de Nice qui, de plus, présente la particularité de ne pas appliquer de chloration résiduelle.

Le diagnostic de l'état microbiologique et sanitaire du réseau de Nice a permis de confirmer que la qualité de l'eau se maintient tout au long de son transport dans les canalisations et surtout que l'absence de chloration à l'entrée du réseau n'entraîne pas de dégradation d'ordre bactériologique. Par ailleurs la teneur en CODB n'augmente pas dans le réseau montrant ainsi l'absence de relargage ou de contamination pendant le transport.

Les numérations en germes totaux dénombrées par épifluorescence (sans distinction de viabilité) sont peu élevées par rapport à d'autres réseaux alimentant des grandes agglomérations et les numérations en germes aérobies revivifiables restent globalement faibles jusqu'en extrémité de réseau.

La présence d'*Aeromonas hydrophyla* n'a été relevée qu'en faibles quantités sur quelques points de prélèvement situés uniquement sur le réseau alimenté par l'eau de surface de Vésubie traitée.

L'étude met en évidence la différence très nette de comportement microbiologique de l'eau provenant de la nappe du Var et de l'eau provenant du Canal de la Vésubie dans les deux réseaux de distribution respectifs qui ont pu être parfaitement délimités par le suivi de la teneur en chlorures.

Bien que ces deux types d'eau présentent des teneurs en CODB situées au niveau de la limite de détection de la méthode qui est de 0,1 mgC/l, la reviviscence bactérienne dans le réseau est plus forte pour l'eau de Vésubie que pour l'eau de la nappe du Var. Les numérations en germes totaux mesurés par épifluorescence sont par ailleurs toujours plus importantes sur le réseau Vésubie que sur le réseau Var. Cette observation se confirme sur la demande en chlore qui pourrait être, sur ces eaux, un bon indicateur capable de pallier la limite de détection du CODB.

Le biofilm qui est présent dans les deux réseaux, comme le montre les résultats de colonisation des supports dans les réservoirs, est plus important, en terme de numération des bactéries fixées, sur le réseau Vésubie que sur le réseau Var. Le biofilm apparaît cependant moins dense que celui qui se met en place dans les réseaux alimentés par des eaux plus chargées en matière organique.

L'examen des dépôts d'origine essentiellement minérale récupérés dans les canalisations par soutirage à fort débit sur poteau d'incendie n'a pas révélé d'infestation du réseau par des animalcules.

L'importance des observations effectuées sur un réseau à caractère aussi unique que celui de la Ville de Nice servira de référence aux travaux en cours visant à maintenir la qualité de l'eau dans le réseau sans avoir systématiquement recours à la chloration.

Cette étude confirme que la voie à suivre réside dans la limitation à la sortie de l'usine de production d'eau potable de la teneur en matière organique biodégradable qui contrôle les phénomènes de croissance bactérienne.

5 - REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les personnels du Laboratoire d'Hygiène de Nice et des services de la Compagnie Générale des Eaux à Nice pour leur participation à la collecte des échantillons dans le réseau de distribution et dans les réservoirs.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CHARPENTIER B., COURCIER J.P. (1989). Méthode d'évaluation des dépôts dans les canalisations d'eau potable. Tech. Sci. Meth. - *L'Eau*, 84, 7/8 : 413 - 416.
- GAUTHIER L., LEVI Y., JAYLET A. (1989). Evaluation of the clastogenicity of water treated with sodium hypochlorite or monochloramine using a micronucleus test in *Newt* larvae. *Mutagenesis*, 4, 3 : 170-173.
- HAUDIDIER-BORNERT C. (1989). Contribution à l'étude des biofilms des réseaux de distribution d'eau d'alimentation. Thèse de doctorat de l'Université de Nancy I en alimentation-nutrition (225 p).
- HAVELAAR A.H., VONK M. (1988). The preparation of ampicillin dextrin agar for the enumeration of *Aeromonas* in water. *Letters in Applied Microbiology*, 7 : 169-171.
- JADAS-HECART A. (1989). Contribution à l'étude de la demande en chlore à long terme d'une eau potable. Modélisation et identification des précurseurs organiques. Thèse de l'Université de Poitiers, n° 282, 150 p.
- JORET J.C., LEVI Y., GIBERT M. (1989). The measurement of Bioeliminable Dissolved Organic Carbon (BDOC) : a tool in water treatment. *Water Supply*, 7 : 4.1 - 4.5.
- KRASNER S.W., Mc GUIRE M.J., JACAN-GELO J.G., PATANIA N.L., REAGAN K.M. et AIETA M.E. (1989) The occurrence of disinfection by-products in U.S. drinking water. *JAWWA*, 81, 8 : 41-53.
- LEVI Y., JESTIN J.M. (1988). Offensive tastes and odors occurring after chlorine addition in water treatment processes. *Wat. Sci. Techno.*, 20, 8/9 : 269-274.
- SHELLART J.A. (1986). Disinfection and bacterial regrowth : some experiences of the Amsterdam water works before and after stopping the safety chlorination. *Water Supply*, 4, Mulhouse : 217-225.
- SERVAIS P., LAURENT P., BILLEN G., LEVI Y. (1992). Etude de la colonisation bactérienne des réseaux de distribution. Tech. Sci. Meth. - *L'Eau*, 87, 6, 321-326.
- SERVAIS P., BILLEN G., VENTRESQUE C., BENEZET M. (1990). Bacterial regrowth in distribution systems : investigation in the Parisian Suburbs network. Soumis à *Water Research*.
- VAN DER KOOIJ D. et HIJNEN W.A.M. (1985). Regrowth of bacteria on assimilable organic carbon in drinking water. *Journal Français d'Hydrologie*, 16, 3, 209 - 218
- VAN DER WENDE E., CHARACKLIS W. G., SMITH D. B. (1989). Biofilms and bacterial drinking water quality. *Water Research*, 23 : 1313 - 1322.