

# QUALITÉ DES EAUX POTABLES PRODUITES À PARTIR DU LÉMAN

## QUALITY OF THE DRINKING WATER PRODUCED FROM LAKE GENEVA

Campagne 2002

PAR

**Stéphan RAMSEIER**

avec la collaboration technique de

**Dominique MANTEGAZZI et Yves BERSIER**

LABORATOIRE DU SERVICE DE L'EAU; SIG GENÈVE, CP 2777, CH - 1211 GENÈVE 2

### RÉSUMÉ

*De 80 à 100 millions de m<sup>3</sup> d'eau sont pompés chaque année du Léman en vue d'une potabilisation réalisée au sein de onze installations qui présentent toutes une filière de traitement différente. Elles ont été visitées à deux reprises pour y prélever des échantillons d'eaux brutes & traitées aux fins d'analyses de micro-polluants (pesticides, EDTA, NTA, solvants organo-halogénés volatils), des sous-produits du traitement des eaux : aluminium, fer, THM ainsi que d'autres paramètres (COT, MES, turbidité, flore aérobie mésophile).*

*L'ensemble des résultats fait état d'eaux traitées qui souscrivent pleinement aux exigences légales (françaises et suisses) en vigueur; pour certains paramètres (pesticides, NTA, EDTA) cependant, ce respect des normes est avant tout dû aux faibles concentrations de micro-polluants présents dans les eaux brutes et non pas à leur éradication du fait d'un mode de traitement adéquat. Ces constatations ne se basent que sur deux campagnes ponctuelles et l'expérience montre que la qualité des eaux à disposition peut parfois poser des problèmes aux distributeurs d'eau (colmatages de filtres, faux-goûts marqués).*

*La description des filières rencontrées montre que celles-ci datent - en moyenne - d'une vingtaine d'années et que les traitements appliqués sont parfois simples.*

*Seules les filières qui disposent d'une étape d'ozonation de l'eau suivie d'une filtration sur charbons actifs (régulièrement régénérés) permettent d'abattre efficacement la majorité des substances anthropiques indésirables dans les eaux potables.*

*La réduction des teneurs en carbone organique en vue d'éviter les problèmes de goût et d'odeurs liés aux développements ponctuels et massifs d'algues passe aussi par ce type de traitement plus moderne que la seule filtration sur sable.*

*En regard des filières de traitement en vigueur dans l'arc lémanique, il est indispensable de continuer à surveiller la qualité de notre ressource et d'en limiter au maximum les apports de substances anthropiques ; les filières les plus modernes ne parviennent pas à éliminer toutes les classes de micropolluants.*

### ABSTRACT

*Eighty to one hundred million cubic meters of water are abstracted from lake Geneva every year for drinking purposes. It is treated at eleven water treatment facilities that all use a different process. They were visited twice, and samples of raw and treated water were taken for determinations of micro-pollutants (pesticides, EDTA, NTA, volatile organo-halogen solvents), water-processing by-products: aluminum, iron, THM and to determine some other parameters (TOC, suspended solids; turbidity, heterotrophic plate count).*

*The findings show that the treated water all complies with current legal requirements (French and Swiss); however, for some of the parameters (pesticides, NTA, EDTA) this compliance is primarily attributable to the low levels of micro-pollutants in raw water, rather than to their successful eradication by means of an appropriate processing method. These observations are based on just two snapshot surveys, and experience has shown that the quality of the water supply can sometimes cause problems (blocked filters, strong unpleasant tastes).*

*The description of the facilities used shows that on average these date back some twenty years, and that the processes used are sometimes very simple.*

*Only the facilities equipped with an ozonation step followed by filtration over activated carbon (regularly reactivated) can effectively get rid of most of the unwanted anthropic substances found in drinking water.*

Reducing the organic carbon content in order to avoid the problem of tastes and odors as a result of temporary algal bloom also involves this type of more up-to-date treatment than simple sand filtration.

Given the water processing facilities in use at lake Geneva, it is essential to go on monitoring the quality of our water resources and to limit as far as possible the inflow of anthropic substances; even the most modern facilities are not able to eliminate every class of micropollutant.

## 1. INTRODUCTION

Lors de sa fondation en 1962, la vocation première de la Commission internationale était de protéger les eaux du Léman contre les pollutions en vue d'assurer<sup>1</sup> la production d'eau de consommation (eau potable) au moyen de traitements réputés "simples".

La figure 1 indique les volumes d'eau soutirés par les différentes installations productrices (onze stations à ce jour) d'eau potable utilisant le Léman comme ressource; en 1962 déjà, pas moins de 60 millions de mètres cubes étaient prélevés annuellement dans le lac.

Le distributeur d'eau potable détermine le mode de traitement appliqué en regard des aspects qualitatifs (et de leurs variations possibles) de la ressource à disposition ainsi qu'en fonction des exigences de potabilité imposées par la législation.

L'essentiel du processus physico-chimique visant à potabiliser une eau consiste souvent (du moins dans nos régions) à réduire sa charge en matières organiques (qui représente des nutriments pour micro-organismes et un potentiel de formation de sous-produits de la désinfection) ainsi qu'à éliminer les éventuelles pollutions fécales qui font toujours planer le spectre d'épidémies, certes rares de nos jours mais toujours d'actualité<sup>2</sup>.

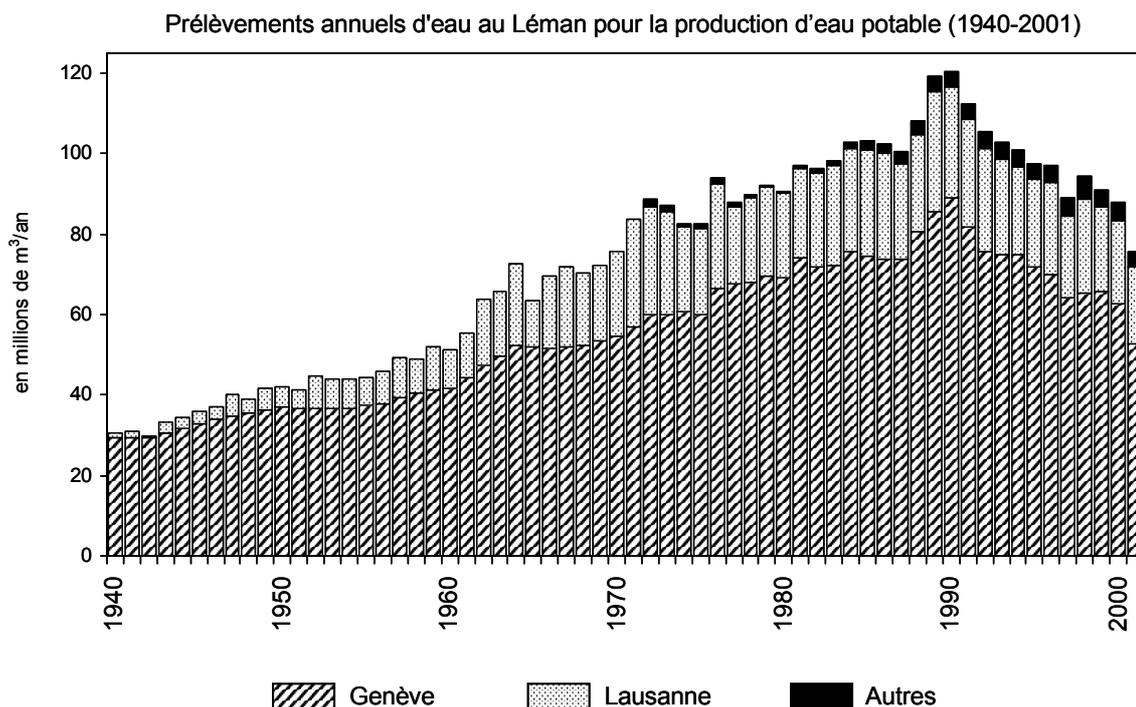


Figure 1 : Prélèvements annuels au Léman pour les années 1940 - 2001

Figure 1 : Annual abstraction from lake Geneva for the years 1940 - 2001

Ainsi, la production d'eau de boisson - à partir d'eau superficielle - peut être compromise par de trop fortes teneurs en phosphore ou en azote qui favorisent la croissance des algues.

<sup>1</sup> Les autres objectifs étant le maintien d'une qualité suffisante du milieu pour les poissons nobles (omble chevalier, corégone, truite) et la pratique des activités de loisir (pêche, baignade, nautisme) dans des conditions optimales

<sup>2</sup> La Neuveville 1998 : environ 1'700 cas; Zermatt 1963 : 437 cas, 3 décès; Glion 1945 : 101 cas, 16 décès.

Du point de vue chimique, la présence de micro-polluants comme les métaux lourds, les pesticides ou d'agents complexants (NTA, EDTA) peut poser de sérieux problèmes aux distributeurs d'eau. D'une part, ces substances sont faiblement voire pas éliminées au moyen des traitements conventionnels simples; d'autre part, elles sont souvent affectées, dans les législations, de valeurs normatives assez basses.

Il était donc important de recenser les installations qui produisent de l'eau potable à partir du Léman, d'en connaître les traitements appliqués ainsi que les difficultés rencontrées et de comparer la qualité des eaux traitées en regard des législations françaises<sup>3</sup> et suisses<sup>4</sup> en vigueur.

## 2. ÉCHANTILLONNAGE

Onze différentes installations de potabilisation ont été visitées afin d'y effectuer des prélèvements d'eau brute (juste après soutirage dans le lac) et des prélèvements d'eau traitée (en fin de filière de traitement) en vue de comparaisons<sup>5</sup>. Ces visites ont pour la plupart été effectuées en présence d'un technicien (représentant l'exploitant).

Ceci a permis de s'assurer que l'installation était bien en fonctionnement, de réaliser les prélèvements aux emplacements adéquats et de connaître les spécificités (type de filtres, dosages de réactifs de traitement, mode d'exploitation etc.) des différentes filières rencontrées.

Deux campagnes d'échantillonnage ont été réalisées : une campagne pendant le brassage automnal du 15 au 17 octobre 2001; l'autre durant la période printanière du 17 au 29 avril 2002 (lorsque la qualité de l'eau brute pose problème du fait du développement du phytoplancton).

Les échantillonnages ont été réalisés (dans la mesure des disponibilités des personnes et des exploitations qui ne sont pas toutes en fonction en permanence) durant la même semaine à chaque campagne.

Les onze installations visitées sont disposées autour du Léman; deux exploitations sont situées sur la rive française et le reste en territoire suisse notamment au voisinage des grands centres urbains comme indiqué sur la figure 2; la liste de ces installations mentionne aussi leurs noms, l'année de mise en service ainsi que le service exploitant.

Les échantillons ainsi récoltés, maintenus à 4°C, ont été transmis aux laboratoires le jour même.

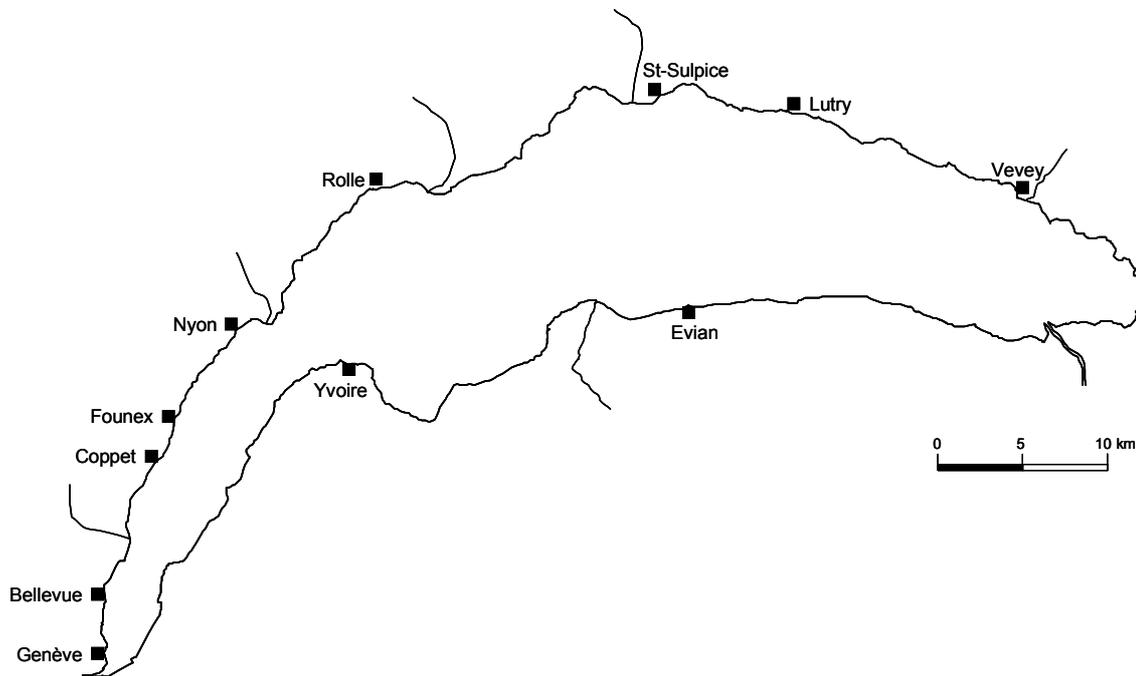


Figure 2 : Localisation des onze stations productrices d'eau potable

Figure 2 : Location of the eleven drinking water production facilities

<sup>3</sup> Décret n° 1220 du 20 décembre 2001

<sup>4</sup> Ordonnance sur les substances étrangères et les composants dans les denrées alimentaires du 26 juin 1995

<sup>5</sup> Intercomparaisons des filières de traitement et comparaisons aux exigences légales

Exploitant	Lieu	Nom de l'installation
Rive suisse		
SIG <sup>6</sup>	Genève	Le Prieuré (1997)
SIG	Bellevue	Bellevue (1967)
SAPAN <sup>7</sup>	Nyon	L'Asse (1984)
Eauservice Lausanne	Lutry	Lutry (2000)
Eauservice Lausanne	St-Sulpice	St-Sulpice (1970)
SIGE <sup>8</sup>	Vevey	Les Gonelles (1971)
SIDERE <sup>9</sup>	Rolle	Champ-Jaillet (1995)
SIDAC <sup>10</sup>	Founex	Balessert (1976)
SIDAC	Coppet	Les Saules (1939)
Rive française		
Syndicat intercommunal des eaux des Moises	Yvoire	Perrignier (1990)
Ville d'Evian	Evian	La Léchère (1989)

### 3. FILIÈRES DE TRAITEMENT DES DIFFÉRENTES INSTALLATIONS

Sur les onze installations visitées, toutes comportent des filières de traitement différentes. Certaines sont extrêmement simples et ne sont constituées que d'une filtration sur sable et une désinfection finale alors que d'autres - plus récentes - sont plus complexes. A noter la présence d'une installation d'ultrafiltration (technique la plus moderne). La filière de traitement est décrite de gauche à droite et le débit nominal (maximum) de chaque installation est indiqué en m<sup>3</sup>/minute.

1	Coppet	3.0 m <sup>3</sup> /min	* FS – Cl <sub>2</sub> ↑
2	Yvoire	1.7 m <sup>3</sup> /min	* pCl <sub>2</sub> – F(tambour) – F(poche) – Cl <sub>2</sub> ↑
3	St-Sulpice	72 m <sup>3</sup> /min	* Al – FS – Cl <sub>2</sub> ↑
4	Lutry	48 m <sup>3</sup> /min	* F(plateaux) – UF – Cl <sub>2</sub> ↑
5	Bellevue	27 m <sup>3</sup> /min	pCl <sub>2</sub> * – Al – FSb – pH <sub>b</sub> – Cl <sub>2</sub> ↑
6	Vevey	22 m <sup>3</sup> /min	* FS – O <sub>3</sub> – Cl <sub>2</sub> ↑
7	Founex	6.0 m <sup>3</sup> /min	* pCl <sub>2</sub> – FS – CAG – ClO <sub>2</sub> ↑
8	Rolle	1.8 m <sup>3</sup> /min	* Al – FSb – CAG – UV ↑
9	Evian	6.7 m <sup>3</sup> /min	* FS – O <sub>3</sub> – CAG – Cl <sub>2</sub> ↑
10	Nyon	22 m <sup>3</sup> /min	pCl <sub>2</sub> * – Al – FSb – O <sub>3</sub> – CAG – pH <sub>b</sub> – ↑ Cl <sub>2</sub>
11	Genève	216 m <sup>3</sup> /min	pCl <sub>2</sub> * – pH <sub>a</sub> – Al – FSb – O <sub>3</sub> – CAG – pH <sub>b</sub> – Cl <sub>2</sub> & ClO <sub>2</sub> ↑

#### abréviations utilisées :

FS	filtration rapide sur lit de sable de quartz
FSb	filtration rapide sur lits bicouches (pierre ponce & sable de quartz)
F(plateaux)	filtration sur anneaux mobiles percés (seuil de coupure : 130 µm)
UF	Ultrafiltration; mode frontal (seuil de coupure 0.01 µm)
F(tambour)	Filtration sur tambour rotatif (seuil de coupure: 25 µm )
F(poche)	Filtration au moyen d'une toile (seuil de coupure: 10 µm )
CAG	Filtration sur lits de charbons actifs granulés
pCl <sub>2</sub>	Préchloration
Cl <sub>2</sub> ClO <sub>2</sub>	Désinfection finale au chlore respectivement au dioxyde de chlore
O <sub>3</sub>	Ozonation
UV	Désinfection aux ultraviolets
pH <sub>a</sub> pH <sub>b</sub>	correction acide (a) respectivement basique (b) du pH
Al	floculation au moyen de sels d'aluminium

Les signes \* et ↑ indiquent l'emplacement (le long de la filière de traitement) des prélèvements des échantillons d'eau brute, respectivement d'eau traitée.

<sup>6</sup> Services Industriels de Genève

<sup>7</sup> Société Anonyme pour le Pompage et l'Adduction d'eau du lac pour la région Nyonnaise

<sup>8</sup> Service intercommunal de la gestion de la région Vevey-Montreux

<sup>9</sup> Association intercommunale pour l'approvisionnement en eau de Rolle et environs

<sup>10</sup> Service Intercommunal d'adduction d'eau du cercle de Coppet

## 4. RÉSULTATS

La plus grande partie des analyses (paramètres physico-chimiques, matières organiques, microbiologie, métaux lourds, trihalométhanes) a été effectuée par le laboratoire des Services Industriels de Genève. Les recherches de pesticides et d'agents séquestrants (NTA, EDTA) ont été réalisées par le laboratoire du Service de protection de la Consommation (SPCo, Genève). La détermination des solvants halogénés volatils a été réalisée par Savoie Labo (Chambéry-FR).

Les résultats sont indiqués pour les onze stations dont le descriptif de la filière de traitement est donné ci-dessus; ces numéros attribués sont repris par la suite sur les graphiques et dans le texte.

Il est bon de garder à l'esprit que les cinq dernières installations (n° 7 à 11) sont celles qui disposent d'une filtration sur charbons actifs (traitement efficace pour la rétention de certains composés organiques) et que la station no 4 met en oeuvre l'ultrafiltration sur membranes.

### 4.1 Matières en suspension

Les matières en suspension (MES) ont été déterminées par pesage, après filtration d'un volume de 10 litres sur membranes de fibres de verre (porosité 0.8 µm); la limite de quantification est d'environ 0.02 mg/L.

L'ordre de grandeur des MES des eaux brutes est compris dans la fourchette de 0.2-1.2 mg/L (figure 3) et dépend de la situation géographique (lieu, profondeur) de la crépine d'aspiration.

Les résultats indiquent (sauf pour les prélèvements entachés de particules de rouille, marqué par un astérisque<sup>11</sup>) un abattement généralement efficace de ces substances non dissoutes; il est vrai que de simples filtres à sable de quartz (stations n° 1, 6) permettent déjà de réduire notablement les matières en suspension.

En contrepartie, lors de prolifération d'algues, les filtres se colmatent rapidement et leur consommation d'eau (à titre indicatif, un filtre de surface de 100 m<sup>2</sup> nécessite 300 à 400 m<sup>3</sup>) lors des rétro-lavages augmente en proportion (fréquence des lavages : jusqu'à une fois par jour).

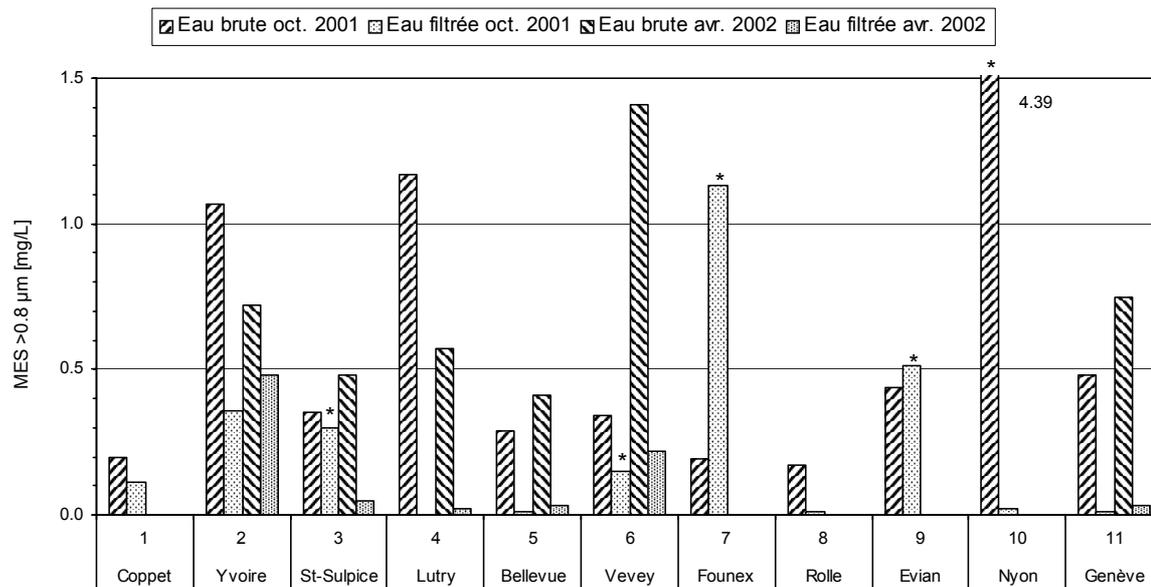


Figure 3 : Matières en suspension (MES) des eaux brutes et traitées  
\* mesures faussées par présence d'oxydes de fer particulaire

Figure 3 : Suspended solids (SS) in raw and treated water  
\* values invalidated by the presence of particulate iron oxides

Les stations qui disposent d'une coagulation au moyen de sels d'aluminium (n° 3, 5, 8) montrent des abattements bien meilleurs et d'autant plus efficaces que l'étage de filtration est constitué d'un lit filtrant bi-couches (sable de quartz et pierre ponce).

Il n'existe pas de norme (suisse ou française) en ce qui concerne les matières en suspension mais celles-ci influencent notablement la turbidité.

<sup>11</sup> Conséquences des fontaines d'où l'eau coule rarement ou à une mise en route de l'installation le jour de la visite

## 4.2 Turbidité

Les mesures de turbidité ont été réalisées dans l'infrarouge à la longueur d'onde de 860 nm et avec un angle de mesure de 90°; la limite de quantification est de 0.02 - 0.03 NTU (NTU : unités néphélométriques de turbidité).

La mesure de la turbidité (ou "opacité" de l'eau) permet de quantifier globalement les substances qui sont en suspension (bactéries, colloïdes, pollens, etc.).

Seules les filières de traitement multi-étapes et l'ultrafiltration membranaire permettent d'abattre la turbidité de façon efficace (figure 4, stations n° 4, 5, 8, 10, 11). Les exigences légales [Suisse : 1 NTU (tolérance); France : 1 NTU (limite de qualité)] sont respectées.

Cependant, l'expérience acquise ces dernières années par les distributeurs d'eau les contraint à imposer -à l'interne- des normes plus strictes (< 0.1 NTU) afin de s'assurer que les spores de protozoaires (*Cryptosporidium*, *Giardia*) sont réduites le cas échéant d'un facteur suffisant. Ces spores présentent un caractère infectieux marqué et sont bien plus résistantes aux conditions de désinfection mises en œuvre dans les filières que ne le sont les bactéries; il incombe donc de les retenir et une filtration efficace (c.-à-d. avec floculation) est l'un des meilleurs moyens pour y parvenir.

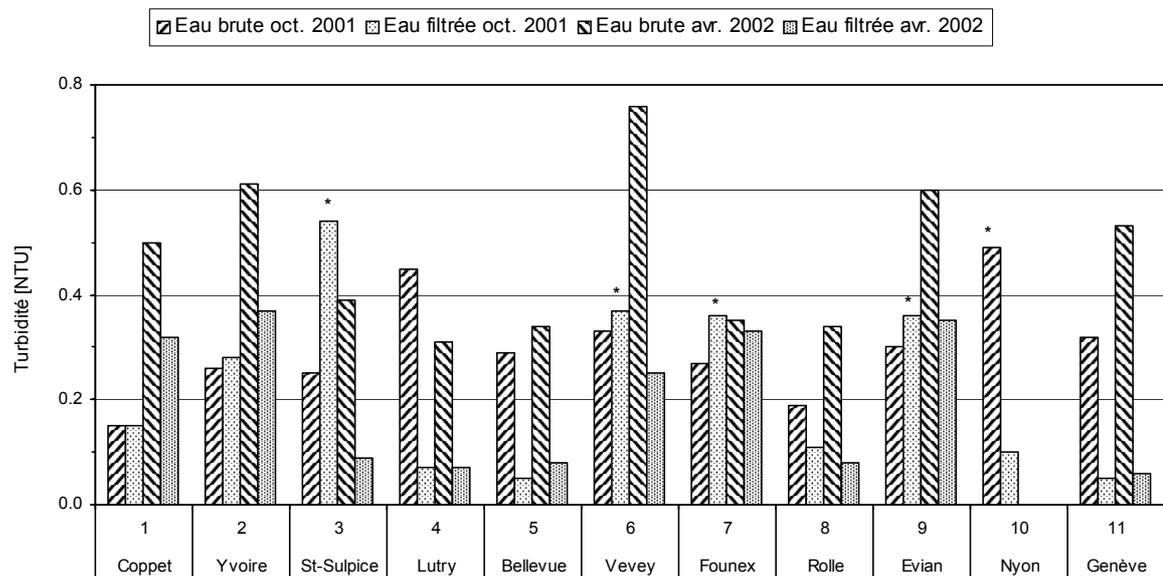


Figure 4 : Turbidité des eaux brutes et traitées  
\* mesures faussées par présence d'oxydes de fer particulaire

Figure 4 : Turbidity of the raw and treated water  
\* values invalidated by the presence of particulate iron oxides

## 4.3 Carbone organique total

La mesure du COT a été effectuée au moyen de la méthode classique par oxydation dans un four (avec catalyseur) porté à haute température avec dégazage préalable du carbone minéral. La limite de quantification est de l'ordre de 0.05 - 0.1 mgC/L.

La mesure typique du COT des différentes eaux brutes est d'environ 0.8 mgC/L ce qui représente une valeur faible (figure 5) et facilite donc grandement le traitement de l'eau du Léman. Les exigences légales [Suisse: --- ; France: 2 mgC/L (référence de qualité)] seraient même respectées sans aucun traitement.

Seuls les traitements incluant une filtration sur charbons actifs<sup>12</sup> montrent un abattement substantiel de ce paramètre (figure 6, stations n° 8, 10, 11). Les stations pour lesquelles les masses filtrantes sont saturées n'abattent pas plus de COT que d'autres installations qui ne comportent pas cette étape d'adsorption.

Une consommation du carbone biodisponible peut tout de même se mettre en place dans des filtres dits "biologiques" même s'ils sont saturés et ce pour autant que les conditions d'exploitation permettent à la flore bactérienne de s'instaurer et de se développer (température de l'eau pas trop fraîche, présence de phosphate, contres-lavages pas trop perturbants).

<sup>12</sup> Cette technologie implique une régénération suivie des masses filtrantes une fois l'état de saturation atteint

La comparaison<sup>13</sup> des stations 3 et 4 (filtration sur sable monocouche et ultrafiltration) n'indique pas de différence significative du point de vue de l'élimination du COT; le seuil de coupure des membranes (0.01 µm), correspondant à un poids moléculaire approximatif de 20'000 Da n'est pas suffisant pour retenir les substances dissoutes mais des porosités plus petites impliquent des pressions plus importantes. L'utilisation de charbon actif en poudre permet de palier à cet inconvénient et de retenir d'autres composés indésirables (pesticides).

Les deux installations de Lausanne (n° 3 et 4) et celle de Vevey (n° 6) sont les seules dont les teneurs en COT de la campagne d'avril sont plus faibles qu'en période automnale; l'explication est sans doute à mettre sur le compte d'une situation géographique particulière.

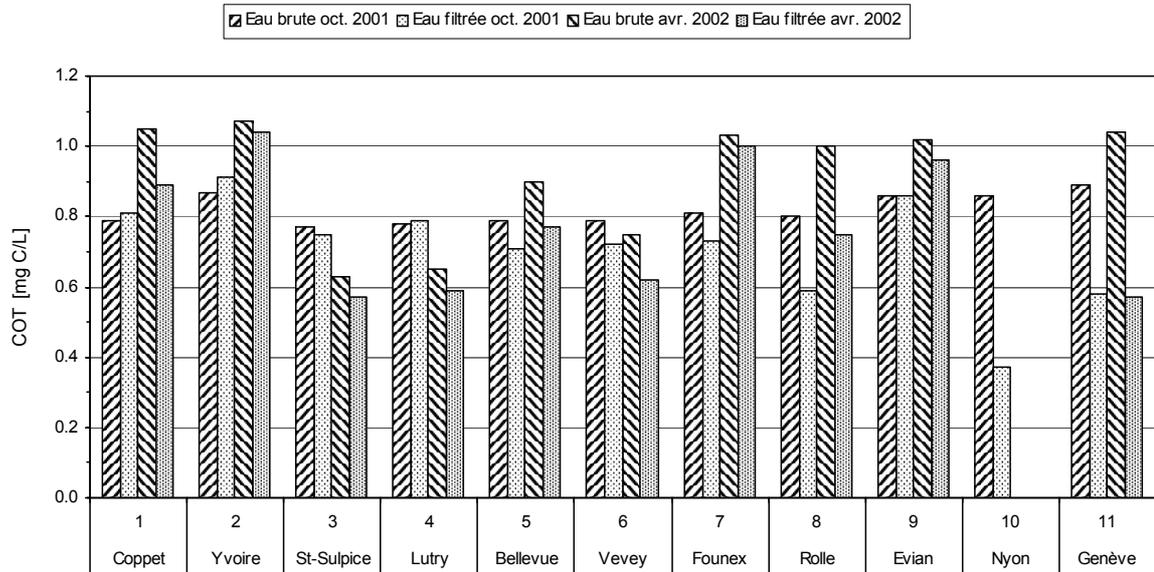


Figure 5 : Carbone organique total (COT) des eaux brutes et traitées

Figure 5 : Total organic carbon (TOC) in raw and treated water

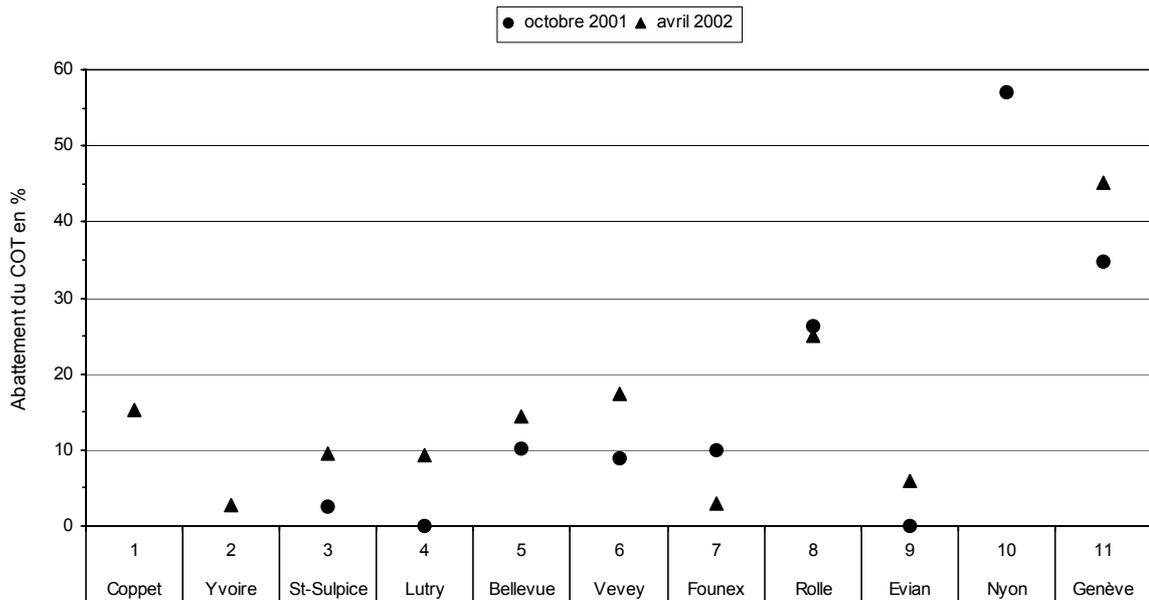


Figure 6 : Abattement du COT des différentes installations

Figure 6 : Reduction of the TOC at the various facilities

<sup>13</sup> pour ces 2 prélèvements ponctuels cependant

Bien que les teneurs en COT soient considérées comme faibles, suivant les types d'algues rencontrés (notamment lors de blooms printaniers ou automnaux), plusieurs impacts négatifs peuvent en découler :

- Une dégradation si considérable des qualités organoleptiques de l'eau potable que celle-ci n'est plus acceptée ni utilisable, comme eau de boisson voire même pour l'hygiène corporelle. L'apparition de composés sapides est due à la décomposition des algues dans les filtres suivie de la réaction du chlore avec leur contenu cytoplasmique. Les algues les plus problématiques font partie des diatomées (*Tabellaria*, *Asterionella*), des Cyanobactéries (*Oscillatoria*, *Microcystis*, *Anabaena*) ainsi que des flagellés pigmentés (*Rhodomonas*, *Ceratium*, *Cryptomonas*). La présence de seulement quelques cellules par millilitre de *Synura* suffit par exemple à conférer une odeur nettement perceptible (qualifiée comme proche du concombre); les diatomées et les flagellés sont responsables d'odeurs de poisson.
- Une colmatation rapide des filtres qui nécessite de fréquents contre-lavages (opérations grandes consommatrices d'eau propres); ce sont généralement le fait des algues filamenteuses mais aussi des diatomées *Fragilaria*, *Tabellaria*, *Asterionella*, *Synedra* qui présentent une structure squelettique siliceuse rigide.
- La production de substances toxiques (surtout cyanobactéries : *Oscillatoria*, diatomées : *Navicula*) comme par exemple l'anatoxine-a (neurotoxine), la microcystine L-R (hépatotoxine)<sup>14</sup>.
- La colonisation et le développement ultérieur sur les parois des réservoirs qui conduisent à une dégradation de la qualité de l'eau qui y est stockée suivant les phénomènes évoqués ci-dessus en plus de reviviscences bactériennes, constitution de bio-films, dégradation des constructions, etc.

Ces énumérations ne sont pas seulement théoriques; des épisodes récents ont montré que la qualité organoleptique des eaux distribuées pouvait être fortement dégradée et donner lieu à des plaintes des consommateurs, voire figurer à la une des journaux : novembre 1985 [*Oscillatoria rubescens*]; 22-27 mars 1990 et mars 1991 [*Rhodomonas minuta*]; décembre 2001 - mars 2002 [*Tabellaria fenestrata*].

#### 4.4 Absorbance dans l'ultraviolet

Cette mesure s'effectue à la longueur d'onde de 254 nm au moyen d'un spectrophotomètre muni d'une cellule de 4 cm de longueur. La limite de quantification est d'environ 0.03 m<sup>-1</sup>.

Elle permet d'appréhender la matière organique qui contient des groupements aromatiques ou oléfiniques (présence de doubles liaisons carbone-carbone) et elle est aussi sensible aux liaisons peptidiques (protéines). Il n'existe aucune norme légale pour ce paramètre.

La figure 7 indique les résultats des mesures et la figure 8 montre l'abattement des composés mesurés.

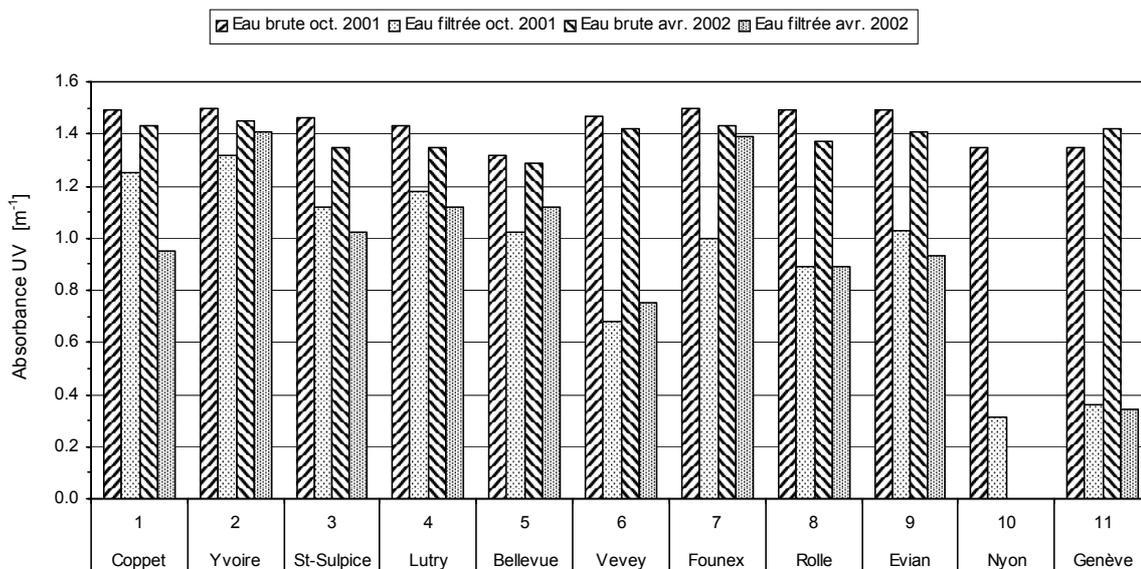


Figure 7 : Absorbance ultraviolette à 254 nm des eaux brutes et traitées

Figure 7 : Ultraviolet absorbance at 254 nm of the raw and treated water

<sup>14</sup> Pour cette dernière d'ailleurs, l'OMS a émis une recommandation provisoire fixée à 1µg/L, recommandation reprise d'ailleurs par la législation française

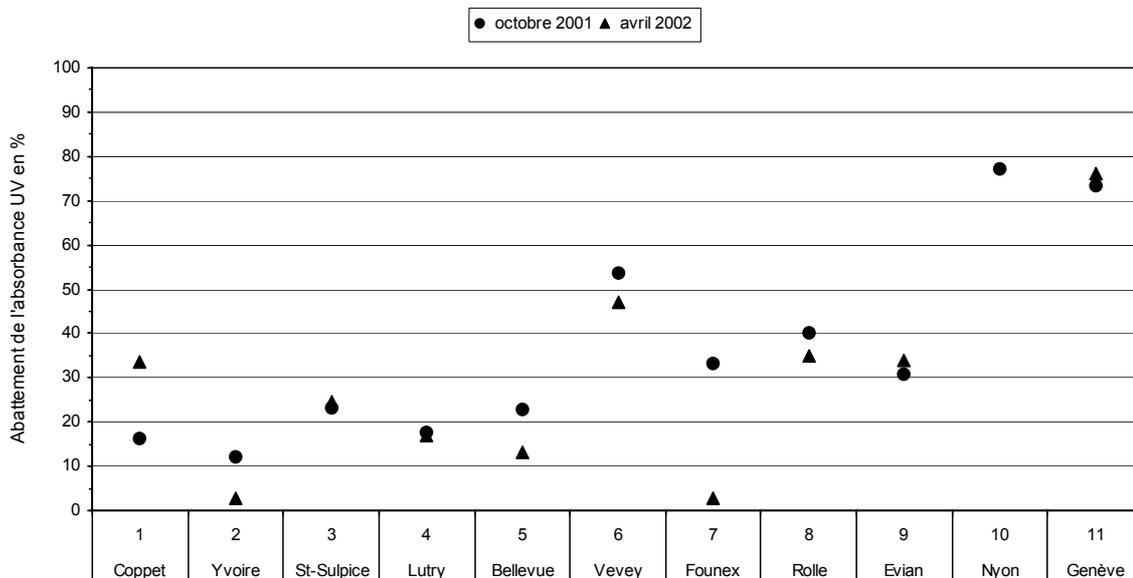


Figure 8 : Abatement de l'absorbance UV des différentes installations.

Figure 8 : Reduction of the UV absorbance at the various facilities

Les conclusions que l'on peut tirer de ces deux figures sont similaires à celles déjà données pour le COT à la différence près que le traitement à l'ozone apporte une diminution notable des matières organiques décrites par la mesure UV (comparer les figures 6 et 8 pour les stations n° 6 et 9).

La raison est que la molécule d'ozone réagit facilement avec les doubles liaisons dans le cadre d'une réaction que les chimistes organiciens qualifient d'ozonolyse. Les produits formés à cette occasion sont des cétones, des aldéhydes voire des acides carboxyliques si la réaction est poussée à son degré ultime. Ces produits présentent tous l'inconvénient majeur de conférer à l'eau des goûts et des odeurs notables et d'être plus bio-disponibles pour les micro-organismes qui s'en nourrissent (formation de carbone organique assimilable) que ne le sont les substances initiales.

C'est pourquoi la technique d'ozonation de l'eau est habituellement suivie d'une filtration sur charbons actifs de manière à adsorber les produits de dégradation par l'ozone qui, par la même occasion, stimule la croissance bactérienne au sein des masses filtrantes (mode de filtration dit "biologique").

Des mesures de carbone organique biodisponible (COBD) ont été réalisées dans cette étude mais les résultats obtenus présentent trop de variabilité du fait des teneurs rencontrées qui sont très faibles (environ 0.1 mg COBD/L). Ces résultats ne sont par conséquent pas présentés.

#### 4.5 Aluminium résiduel

L'aluminium a été dosé par spectroscopie d'absorption atomique avec four graphite. La limite de quantification est d'environ 5 µg/L. Les résultats sont présentés sur la figure 9.

Des teneurs supérieures à la limite de détection ne sont retrouvées que dans de rares cas pour les eaux brutes et peuvent provenir de contaminations (tuyauterie, résidus d'argile en suspension).

En ce qui concerne les eaux traitées, la présence d'aluminium provient de l'usage de réactifs de floculation (stations n° 3, 5, 8, 10, 11) qui favorisent la coagulation des matières en suspension afin d'améliorer l'efficacité des filtrations sur sable qui suivent.

La quantité de matières en suspension des eaux brutes étant faible, les doses de flocculants injectées demeurent minimales (de 0.03 à 0.45 mg Al/L) et seule une fraction de cet aluminium reste en solution dans l'eau (la majeure partie est retenue avec les matières décantées dans les filtres à sable). De ce fait, les exigences légales [Suisse : 0.2 mg/L (tolérance); France : 0.2 mg/L (référence de qualité)] sont totalement respectées.

Cependant, au printemps, lors d'épisodes de photosynthèse active, le pH de l'eau brute peut aisément s'élever d'une unité de pH passant de 8.0 (moyenne) à 9.0; dans ces conditions, la part d'aluminium dissous augmente fortement par formations de complexes solubles du type  $Al(OH)_4^-$ .

Ainsi, le résiduel d'aluminium peut atteindre des valeurs de 150 µg/L suivant le dosage appliqué; il est donc nécessaire d'abaisser le pH de l'eau pour limiter ce phénomène. La réduction de la dose de flocculant n'est évidemment pas envisageable au moment où la richesse planctonique des eaux brutes est maximale.

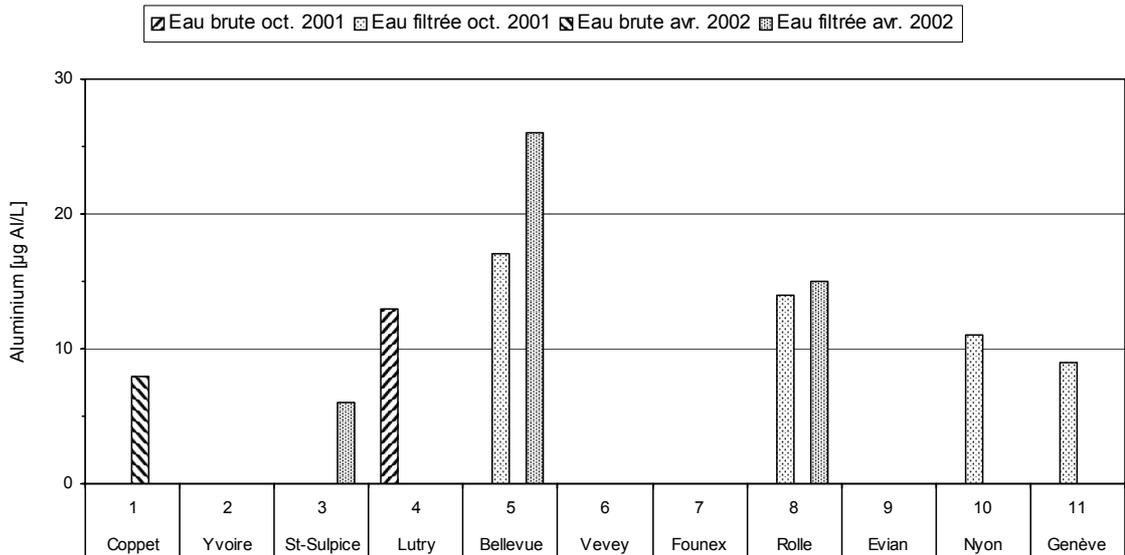


Figure 9 : Aluminium résiduel dans les eaux brutes et traitées  
 Figure 9 : Residual aluminum in raw and treated water

#### 4.6 Fer résiduel

La mesure de fer a également été réalisée par spectroscopie d'absorption atomique avec four; la limite de quantification est de l'ordre de 2 µg/L. Les résultats sont représentés sur la figure 10.

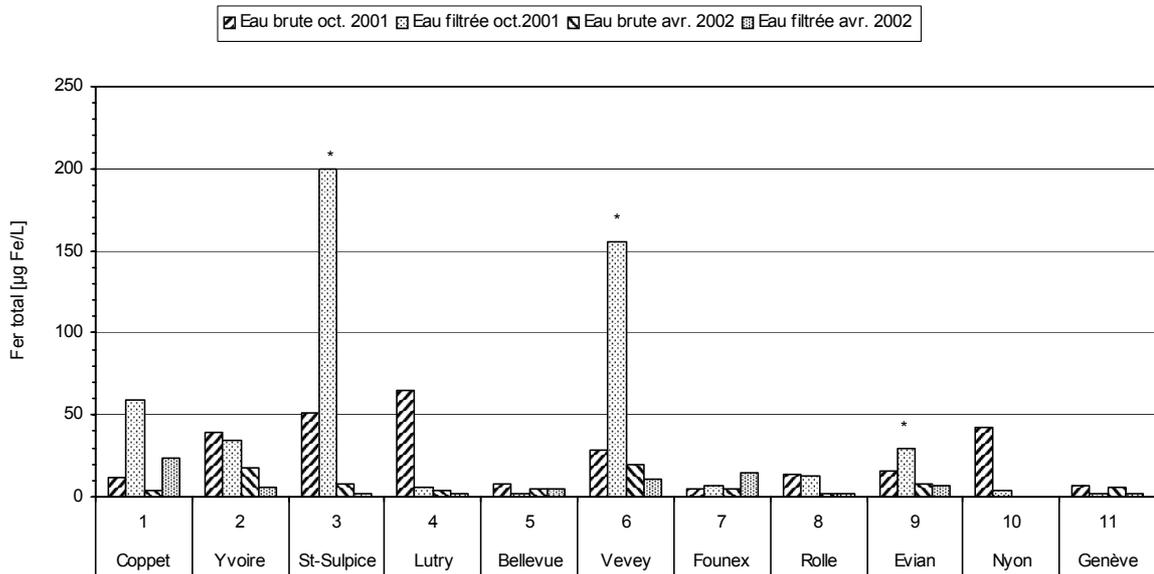


Figure 10 : Fer total dans les eaux brutes et traitées  
 \* mesures faussées par présence d'oxydes de fer particulaire  
 Figure 10 : Total iron in raw and treated water  
 \* values invalidated by the presence of particulate iron oxides

A l'exception de prélèvements douteux (\*) les teneurs en fer sont systématiquement réduites par les traitements mis en œuvre au sein des installations de potabilisation; l'ozonation précipite le fer dissous en oxydes insolubles; la filtration retient les particules non solubles. Les valeurs trouvées tant dans les eaux brutes (de 10 à 20 µg/L) que traitées respectent donc les exigences légales [Suisse : 0.3 mg/L (tolérance); France : 0.2 mg/L (référence de qualité)].

#### 4.7 Autres métaux lourds

La palette des métaux pris en compte dans cette étude englobe outre le fer : le cuivre, le zinc et le manganèse. Pour ces métaux, les teneurs des eaux brutes lors des deux campagnes sont très faibles de l'ordre du µg/L pour le cuivre et le manganèse et de quelques dizaines de µg/L pour le zinc. Les normes suisses sont respectivement de 1.5 mg/L pour le cuivre, 5 mg/L pour le zinc et 50 µg/L pour le manganèse total. En principe, le traitement de l'eau n'enrichit pas celle-ci en ces métaux, le zinc pouvant éventuellement apparaître suite à des phénomènes de corrosion.

Les teneurs rencontrées dans notre étude sont identiques aux mesures effectuées régulièrement au point SHL2 (sur ces métaux ainsi que pour le plomb, cadmium, chrome, mercure) lors des campagnes CIPEL précédentes (LAZZAROTO *et al.*, 2002 et campagnes CIPEL antérieures).

Toutes les valeurs mesurées régulièrement sont de loin inférieures aux exigences légales en matière de potabilité.

#### 4.8 Microbiologie

Les germes aérobies mésophiles ont été déterminés par inclusion d'un mL d'eau dans le milieu de culture liquide (Plate Count Agar) suivi d'une incubation de 3 jours à la température de 30°C. Les résultats sont représentés sur la figure 11.

On peut constater que l'ensemble des installations délivre des eaux qui respectent les exigences légales [Suisse : < 300 UFC/mL<sup>15</sup> (tolérance); France : pas de variation d'un rapport > 10 (référence de qualité)] et que les eaux brutes qui sont déjà désinfectées à la crépine d'aspiration présentent une flore réduite (stations no 5, 10, 11).

La détermination de cette flore (dite banale) n'a pas de signification hygiénique à proprement parler mais elle est une indication de la bonne pratique d'élaboration du produit concerné.

On peut mettre en relation les mesures élevées des aux brutes des stations 6 et 9 (avril 2002) avec les fortes turbidités observées (figure 4).

Les critères habituels de contamination fécale (recherche de *E. coli* & Entérocoques fécaux) en microbiologie des eaux ont bien entendu été recherchés et les résultats sont bons pour toutes les eaux traitées (absence de germes témoins de contamination fécale). Ceci témoigne de l'efficacité des procédés de désinfection mis en œuvre au sein de toutes ces filières différentes.

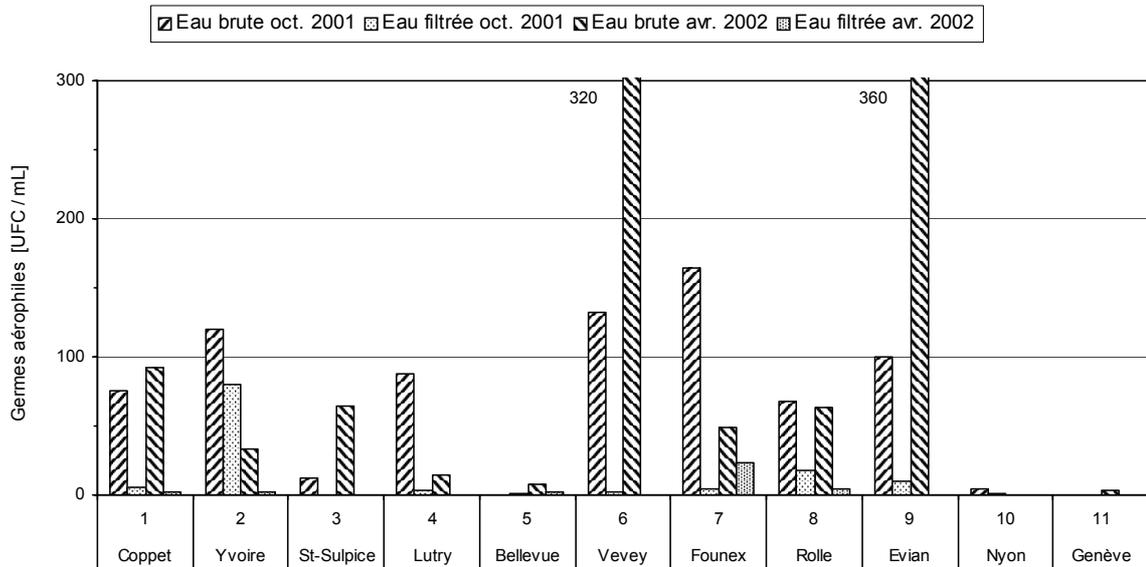


Figure 11 : Germes aérophiles 3 jours à 30°C dans les eaux brutes et traitées

Figure 11 : Heterotrophic plate count after 3 days at 30°C in raw and treated water

<sup>15</sup> UFC/mL = unité formant colonie par mL d'eau

#### 4.9 Trihalométhanes

La détermination des trihalométhanes ou THM (chloroforme, bromodichlorométhane, dibromochlorométhane, bromoforme) a été réalisée par chromatographie en phase gazeuse avec détecteur à capture électronique (ECD) et colonne capillaire (Supelco VOCOL 105 m x 0.53 mm, film : 3 µm). Les limites de quantification sont de l'ordre de 0.1- 0.2 µg/L.

Les résultats des THM totaux (somme des quatre substances) sont représentés sur la figure 12.

Les THM sont la conséquence de l'utilisation du chlore comme désinfectant; cet agent réagit avec les matières organiques présentes et l'ion bromure pour donner des substances organo-halogénées. Les quantités produites dépendent de la dose de chlore appliquée, du temps de contact ainsi que de la teneur en COT de l'eau.

La station n° 9 donne les résultats les plus élevés; conséquence d'une chloration des eaux plus importante à cette époque. L'absence de THM dans l'eau traitée à la station no 10 est due à un prélèvement réalisé avant la désinfection finale (l'eau brute en renferme mais la filtration sur lits à charbon actif les élimine).

A la station n° 8, la désinfection par rayons ultra-violet ne génère pas de THM tout comme les très faibles concentrations rencontrées à la station n° 6 qui sont dues à une désinfection réalisée en partie par l'ozone.

Toutes les valeurs mesurées respectent les exigences légales [Suisse : 20 µg/L calculé en chlore (tolérance); France : 100 µg/L (limite de qualité)] même dans le cas des eaux ponctuellement surchlorées.

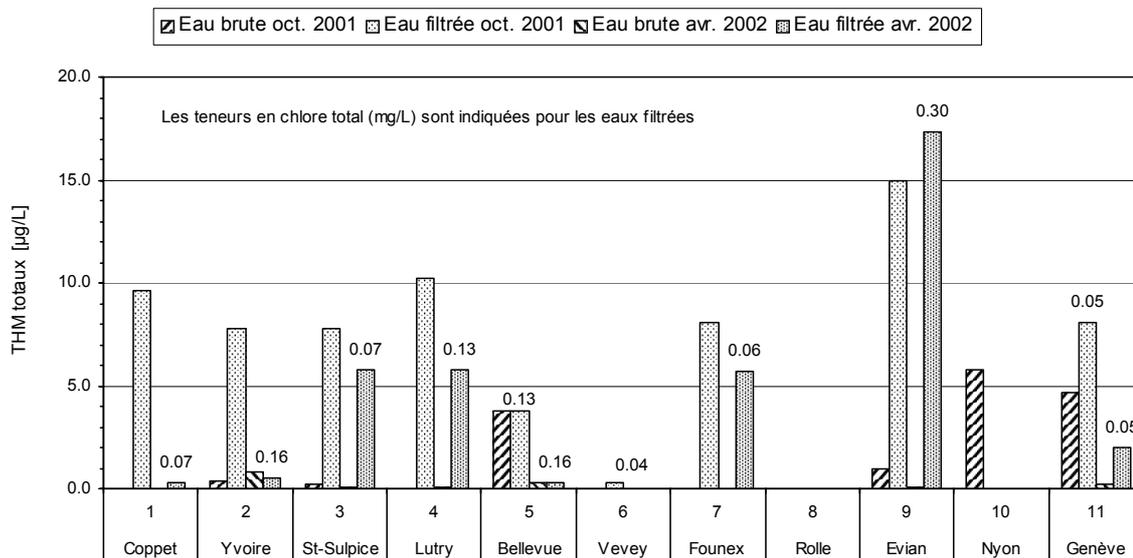


Figure 12 : Somme des THM dans les eaux brutes & traitées. Les chiffres en dessus des barres indiquent le chlore résiduel total (mg/L) pour certaines eaux traitées

Figure 12 : Sum of the THM in raw and treated water. The numbers shown above the bars indicate the total residual chlorine (mg/L) in some of the treated water samples

Ainsi, les faibles teneur en COT des eaux du Léman permettent la chloration des eaux sans produire trop de composés indésirables (sous-produits de la désinfection) c'est-à-dire en respectant pleinement les normes.

#### 4.10 Autres composés organo-halogénés (COV)

D'autres composés organo-halogénés ont été recherchés lors de la première campagne de 2001; ceux-ci sont répertoriés dans le tableau 1. Comme aucune de ces substances n'avait alors été mise en évidence, ces analyses n'ont pas été entreprises lors de la seconde campagne.

Les résultats montrent que ces substances sont absentes des eaux brutes et des eaux traitées; les normes helvétiques pour les eaux potables sont indiquées pour comparaisons.

Certains de ces composés étant des contaminants souvent rencontrés dans les eaux (trichloréthylène, perchloréthylène), il est réjouissant de noter leur absence dans les eaux du lac au niveau des crépines d'aspiration.

Tableau 1 : Organo-halogénés volatils, campagne d'octobre 2001, eaux brutes & traitées; exigences suisses pour l'eau potable

Table 1 : Volatile organohalogenes, October 2001 survey, raw and treated water; Swiss standards for drinking water

Organo-halogénés volatils	Toutes stations eaux brutes & traitées µg/L	Exigences légales suisses valeurs limites µg/L
1,1-Dichloroéthylène	< 10	30
Dichlorométhane	< 10	20
T-1,2-Dichloroéthylène	< 10	50
1,1-Dichloroéthane	< 10	30
C-1,2-Dichloroéthylène	< 10	50
Bromochlorométhane	< 0.5	15
1,1,1-Trichloroéthane	< 0.5	2000
1,2-Dichloroéthane	< 10	3
Tétrachlorure de carbone	< 0.25	2
Trichloroéthylène	< 0.5	70
1,2 Dichloropropane	< 10	-
Dibromométhane	< 0.5	-
1,1,2-Trichloroéthane	< 0.5	-
Tétrachloroéthylène	< 0.25	40
1,2-Dibromoéthane	< 0.5	-
1,1,2,2-Tétrachloroéthane	< 0.5	-
Hexachloroéthane	< 0.5	-
Hexachlorobutadiène	< 0.5	-

#### 4.11 Pesticides

Ces analyses ont été effectuées après extraction dans le dichlorométhane par chromatographie gazeuse et liquide (CORVI, 1996). La limite de quantification pour les triazines est de l'ordre de 0.01 - 0.02 µg/L.

Les exigences légales suisses et françaises en la matière sont identiques et imposent une valeur limite de 0.1 µg/L par substance et un maximum de 0.5 µg/L pour la somme de tous les pesticides. La figure 13 montre la somme des quatre seules substances<sup>16</sup> mises en évidence soit : l'atrazine, la simazine, la tertbutylazine et le métolachlore comme c'est d'ailleurs le cas au point SHL2 pour la campagne 2002.

Pour chacun de ces composés, la concentration dans les eaux brutes mesurée est systématiquement inférieure à la limite légale mais pour le métolachlore et l'atrazine, elle peut atteindre 0.04 µg/L ce qui représente tout de même le 40 % de la norme par substance.

Seules les installations bénéficiant de lits à charbons actifs (régénérés) permettent d'éliminer la totalité des pesticides présents (stations n° 7, 10, 11). Le traitement à l'ozone (station n° 6) ainsi que les autres filières de traitement sont sans effet notable.

Enfin les fluctuations des mesures inter-stations (en eaux brutes) sont en partie à mettre sur le compte de mesures qui sont proches de la limite de détection pour chacune des substances; la variabilité de la somme des composés est de ± 0.04 µg/L.

Ceci toutefois ne permet pas d'exclure formellement d'éventuelles variations liées à des impacts côtiers; la surveillance du lac ayant toujours eu lieu aux points habituels (SHL2, GE3) il conviendrait peut-être à l'avenir de clarifier cette constatation.

<sup>16</sup> Seules substances parmi un vaste éventail de phytosanitaires recherchés et qui ne sont pas mis en évidence au point SHL2 (LAZZAROTO *et al.*, 2003, annexe 1, présent rapport de la campagne 2002)

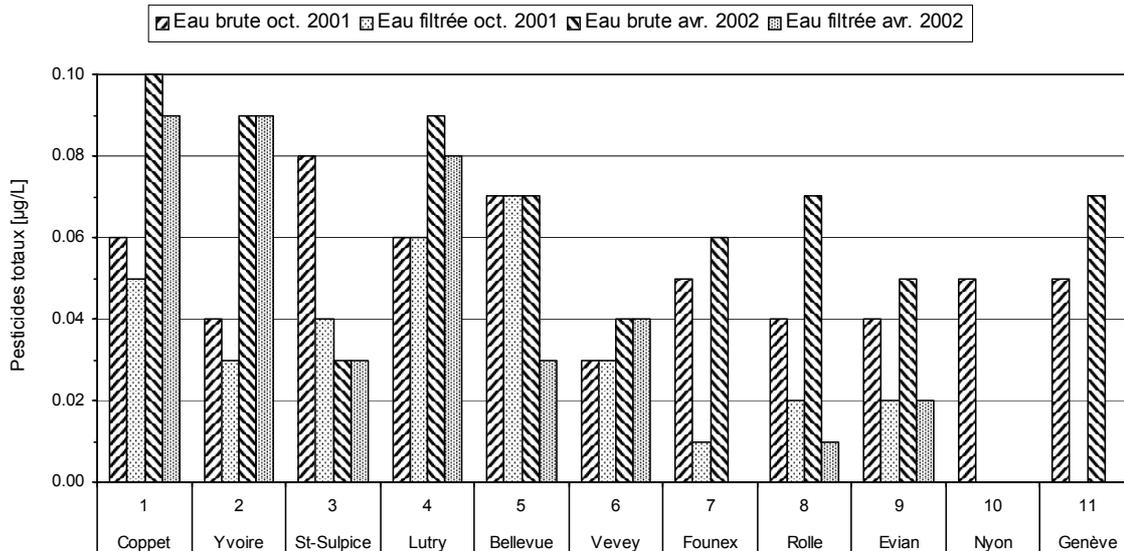


Figure 13 : Pesticides totaux dans les eaux brutes et traitées

Figure 13 : Total pesticides in raw and treated water

#### 4.12 Agents complexants EDTA - NTA

Ces composés ont été pré-concentrés sur résine Dowex 1X2 puis déterminés par chromatographie gazeuse (CORVI 1996).

Les résultats pour l'EDTA sont présentés à la figure 14. Les valeurs trouvées sont très faibles et respectent même la valeur de tolérance [Suisse : 5 µg/L (tolérance); 200 µg/L (limite); France : ---].

Bien que la filtration sur charbon présente une certaine efficacité, l'élimination de ce composé est plutôt à mettre à l'actif du traitement à l'ozone comme l'indique la figure 15 (voir stations n° 6, 9, 11). En effet, l'EDTA est une substance de bas poids moléculaire et de surcroît très soluble dans l'eau sous forme ionique ce qui la rend difficilement adsorbable.

Les mesures obtenues pour le NTA sont représentées sur la figure 16. Les valeurs trouvées sont très faibles et respectent les exigences légales [Suisse : 3 µg/L (tolérance); 200 µg/L (limite); France : ---].

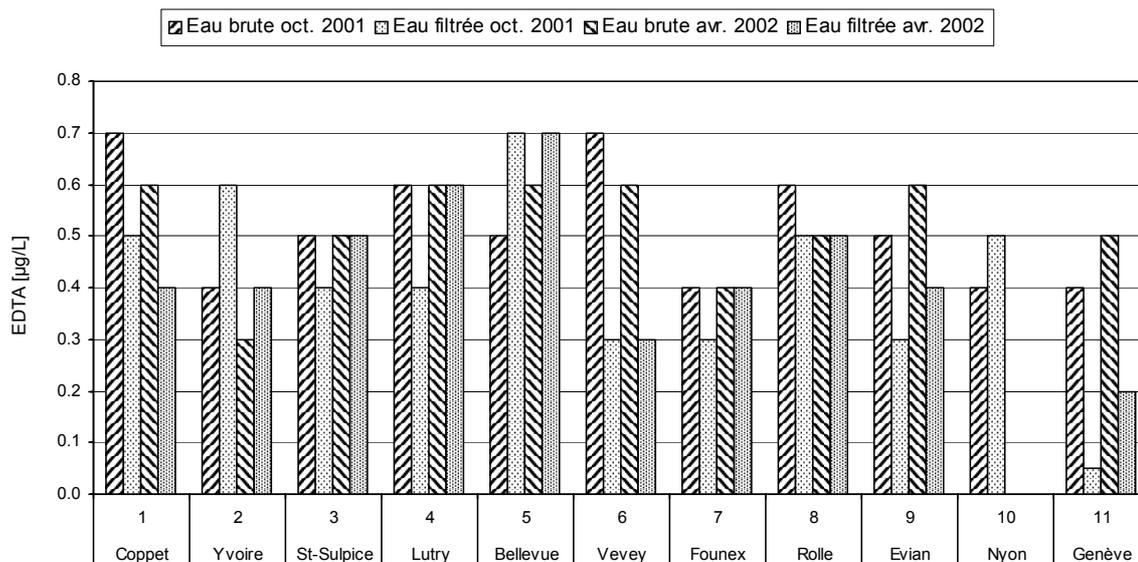


Figure 14 : Teneurs en EDTA des eaux brutes et traitées

Figure 14 : EDTA content of the raw and treated water

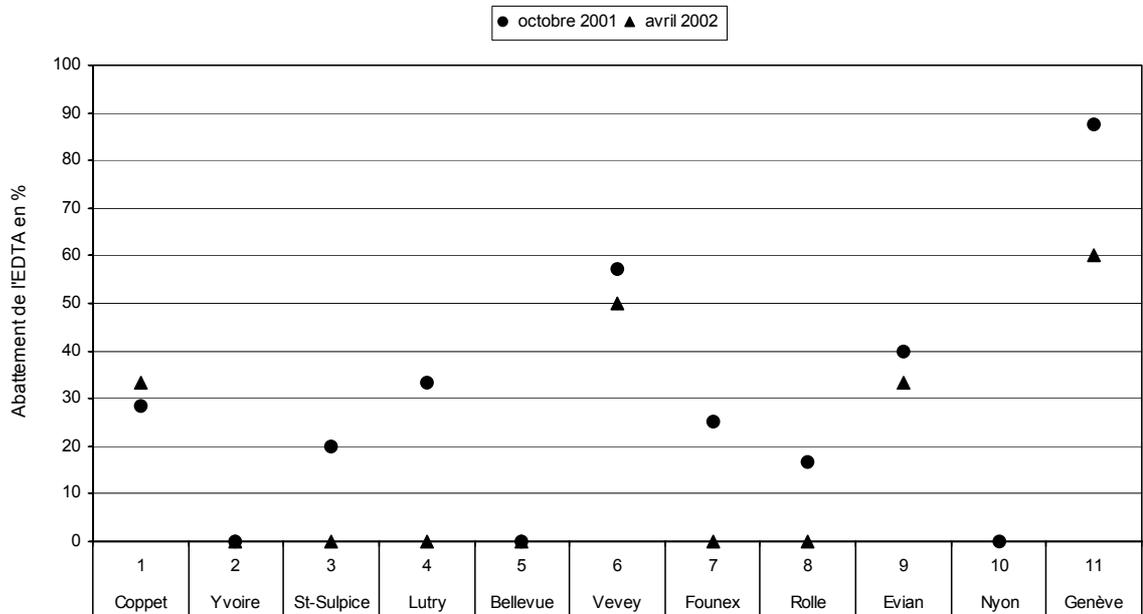


Figure 15 : Abatement de l'EDTA au sein des différentes installations

Figure 15 : Reduction of EDTA at the various facilities

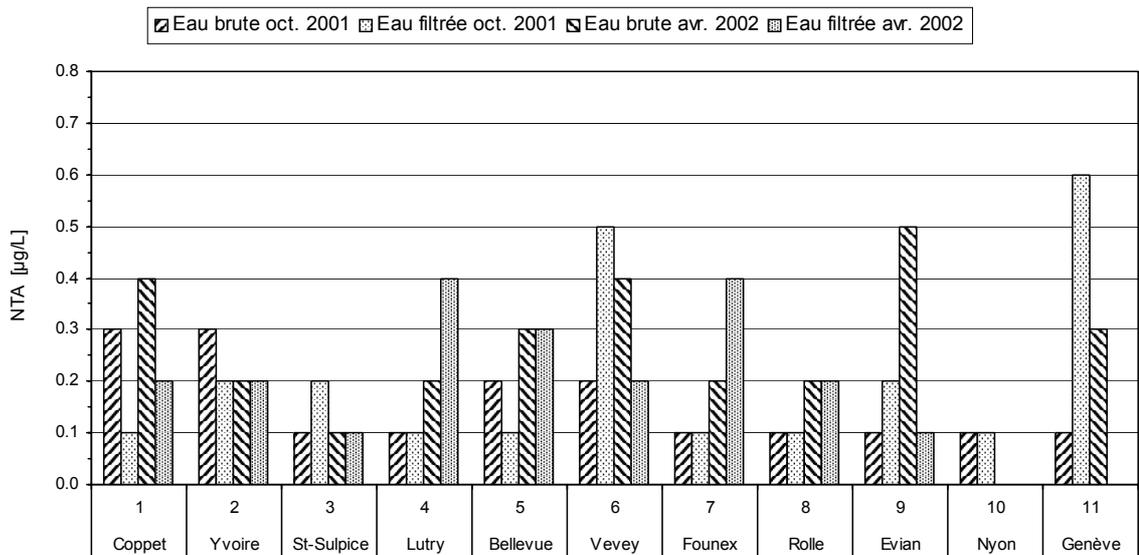


Figure 16 : Teneurs en NTA des eaux brutes et traitées

Figure 16 : NTA content of the raw and treated water

Le traitement à l'ozone tout comme l'adsorption sur charbons actifs n'ont pas de prise sur la molécule de NTA; aucune des filières de traitement ne parvient à éliminer cette substance. Les écarts enregistrés sont vraisemblablement dus à la variabilité de la méthodologie (prélèvements et analyses) pour cette gamme de concentration qui demeure très faible.

## 5. CONCLUSIONS

La synthèse de cette étude doit être relativisée en regard du nombre restreint de prélèvements effectués (deux campagnes) mais il n'était pas envisageable de multiplier ceux-ci pour l'obtention d'une statistique plus représentative. L'idéal aurait été de pouvoir réaliser des prélèvements lors d'un bloom algal, vœu irréaliste pour des raisons d'organisation.

L'eau du Léman pauvre en carbone organique présente un avantage indéniable pour sa potabilisation : les réactifs de traitement (ozone, chlore et dérivés, sels de floculation) ajoutés en quantités faibles, n'induisent en retour qu'une formation minimale de sous-produits.

L'expérience nous apprend cependant que ces basses teneurs en matières organiques ne mettent pas les distributeurs d'eau à l'abri de colmatages de filtres ou de problèmes de goûts et d'odeurs lors de floraisons algales : *Tabellaria fenestrata* durant l'hiver 2001-2002 par exemple.

Les comparaisons des différentes installations montrent que seules les filières modernes incluant une oxydation à l'ozone couplée à des lits à charbons actifs (régénérés régulièrement) permettent un abattement efficace de la presque totalité des micro-polluants présents : EDTA, pesticides, ainsi que de réduire au maximum la formation de sous-produits (THM) lors de l'utilisation de désinfectants.

Certes, la ressource à disposition est déjà de bonne qualité et semble autoriser des modes de traitements simples; il faut noter toutefois que l'on ne peut pas extrapoler les (quelques) bons résultats obtenus lors de nos campagnes à ce qui peut survenir lors de périodes délicates durant l'année.

La responsabilité du distributeur d'eau potable est justement de fournir une eau de qualité qui réponde aux normes quelles que soient les conditions rencontrées (météorologie capricieuse, floraisons algales exceptionnelles, pollution accidentelle, débits demandés fluctuants, etc.).

En avril 1993, l'infection de près de 403'000 personnes, (4'400 hospitalisés, 112 décès) de la ville de Milwaukee (Wisconsin) aux Etats-Unis par un protozoaire capable de résister et traverser une filière de traitement conventionnelle doit inciter à la prudence (SOLO-GABRIELE, 1996).

Il est aussi bon de rappeler que si les teneurs en micro-polluants présents dans les eaux du lac respectent déjà à ce stade les normes en vigueur, ces composés chimiques, de nature anthropique, restent tout de même indésirables dans les eaux de boisson; à cet égard, on se doit de rappeler les inquiétudes actuelles de la communauté scientifique sur les effets des perturbateurs endocriniens<sup>17</sup>.

Cette problématique de substances (antibiotiques, hormones de synthèses, résidus médicamenteux, pesticides etc.) dont les effets sur les organismes aquatiques sont déjà documentés pourrait bien -à terme- jeter un éclairage différent sur les normes de qualité auxquelles les eaux de boisson devront souscrire.

Même si l'état de la technique actuelle permet la production d'eau potable à partir de ressources fortement polluées, seules des actions à la source permettront de s'affranchir des substances étrangères délétères sans parler du prix du précieux liquide qui s'accroît proportionnellement au nombre d'opérations réalisées pour son obtention.

Enfin nos analyses "d'eaux traitées" ne jettent qu'une lumière sur le fluide en sortie de station de potabilisation, soit à l'endroit où celui-ci est, par définition, de la meilleure qualité qui soit à tous points de vue. Son cheminement au travers du réseau de distribution et au sein des installations intérieures d'immeubles ne peut qu'aller dans le sens d'une dégradation de ses qualités intrinsèques; d'où l'intérêt évident, de pouvoir disposer à la source, le Léman, de la meilleure qualité qui soit.

## BIBLIOGRAPHIE

CORVI, C. et KHIM-HEANG, S. (1996) : Recherche de quelques métaux et micropolluants organiques. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1995, 81-89.

LAZZAROTTO, J., RAPIN F. et CORVI, C. (2002) : Evolution physico-chimique et recherche de métaux et de quelques micropolluants dans les eaux du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2001, 33-59.

LAZZAROTTO, J., RAPIN, F. et CORVI, C. (2003) : Evolution physico-chimique et recherche de métaux et de quelques micropolluants dans les eaux du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2002, 31-58.

SOLO-GABRIELE, H. et NEUMEISTER, S. (1996) : US outbreaks of cryptosporidiosis. Jour. AWWA, 88(9), 76-86.

---

<sup>17</sup> Substance ou mélange de composés exogènes altérant les fonctions du système endocrinien et générant des effets nocifs - à des teneurs extrêmement faibles - sur la santé d'un organisme ou de ses descendants