

MÉTAUX ET MICROPOLLUANTS ORGANIQUES DANS LES EAUX DU LÉMAN

METALS AND ORGANIC MICROPOLLUTANTS IN GENEVA LAKE WATERS

Campagne 2006

PAR

Patrick EDDER et Didier ORTELLI

SERVICE DE PROTECTION DE LA CONSOMMATION, CP 76, CH - 1211 GENÈVE 4 Plainpalais

Stéphan RAMSEIER

SERVICES INDUSTRIELS DE GENÈVE, PÔLE ENVIRONNEMENT, CP 2777, CH - 1211 GENÈVE 2

Nathalie CHÈVRE

IPTEH, FGSE, UNIVERSITÉ DE LAUSANNE, CH - 1015 LAUSANNE

RÉSUMÉ

Les teneurs en métaux lourds des eaux du Léman demeurent faibles et satisfont pleinement aux exigences requises pour les eaux de boisson et la vie piscicole.

La recherche de produits phytosanitaires dans les eaux du lac s'est poursuivie avec une attention particulière sur ceux provenant des industries situées sur le Rhône amont. Les mesures prises par ces industries et par l'Etat du Valais portent leurs premiers fruits : une baisse significative des teneurs en foramsulfuron est observée. Cet herbicide mesuré en concentration très élevée l'année dernière s'approchait des valeurs de tolérance pour l'eau potable. Par contre, ce constat ne s'applique pas de manière aussi significative sur la teneur en pesticides totaux car de nouvelles substances ont été recherchées et identifiées dans les eaux du lac.

Comme l'année dernière, la problématique des résidus de médicaments a également été étudiée, d'une part par la recherche des quelques principes actifs produits industriellement dans le bassin versant du Rhône valaisan, d'autre part en reconduisant les analyses effectuées en 2005 portant sur une centaine de substances, mais en augmentant le nombre de points de prélèvements. Deux polluants mis en évidence dans les eaux du lac ressortent : la carbamazépine et la mépivacaïne.

Cette année, la recherche des micropolluants a été élargie par l'analyse dans les eaux du lac de toute une série de composés rentrant dans la composition des cosmétiques ou dans la composition de produits industriels (parabènes, triclosan, filtres UV, muscs polycycliques, nonylphénols, hydrocarbures polycycliques aromatiques, benzotriazoles).

ABSTRACT

The levels of heavy metals in the water of Lake Geneva remain low, and comply fully with the levels stipulated for drinking water and for fish life.

Checking for pesticide residues in water of the lake was continued, with a close attention being paid to those originating from the industries located on the upper Rhône. The measures taken by these industries, and by the canton of Valais bore their first fruit: a significant fall in the levels of foramsulfuron, a herbicide found at very high concentrations last year when levels close to the upper acceptable limits for drinking water were observed. In contrast, total pesticide levels did not fall, because new substances had been tested for and identified in water of the lake.

As in the previous year, the problems of drug residues were also studied, on the one hand by testing for some of the active ingredients produced industrially in Chablais (Swiss), and on the other hand by repeating the tests carried out in 2005 for around one hundred substances, but at a greater number of sampling points. Two main pollutants were identified in the lake water: carbamazepine and mepivacaine.

This year, the range of tests for micropollutants was widened by including analysis of the lake water for a series of compounds included in cosmetics (parabens, triclosan, UV filters, polycyclic musks) or in the composition of industrial products (aromatic nonylphenols, polycyclic aromatic hydrocarbons, benzotriazoles).

1. INTRODUCTION

La présence de micropolluants dans les eaux du bassin lémanique et du lac est une préoccupation majeure de la CIPEL. Le groupe de travail de la CIPEL dédié à cette problématique a, d'une part, poursuivi les travaux menés précédemment dans le domaine des résidus de produits phytosanitaires et, d'autre part, également élargi ses investigations à d'autres types de micropolluants comme les médicaments ou certains composés rentrant dans la composition des cosmétiques (parabènes, triclosan, filtres UV, muscs polycycliques) ou dans la composition de produits industriels (nonylphénols, hydrocarbures polycycliques aromatiques, benzotriazoles). Excepté les travaux menés sur le Rhône amont (voir BERNARD *et al.*, 2007), les études se sont pour l'instant focalisées sur le lac, car ce dernier représente un milieu stable et adéquat pour une bonne visualisation des pollutions dues aux micropolluants organiques. Les pollutions des rivières, même si elles sont parfois plus importantes et les écosystèmes plus menacés, sont beaucoup plus ponctuelles et nécessiteraient un suivi sur une large période de temps.

2. ÉCHANTILLONNAGE

La surveillance de la pollution en métaux lourds, en produits phytosanitaires et de quelques principes actifs de médicaments produits industriellement dans le bassin versant du Rhône valaisan, des eaux du lac est effectuée sur des échantillons prélevés au centre du Léman, à la station SHL2 (figure 1), les 24 avril et 4 septembre 2006 (LAZZAROTTO et RAPIN, 2007).

Pour les recherches des autres micropolluants (médicaments, cosmétiques et autres substances issus de produits industriels), les prélèvements ont été effectués le 3 octobre 2006 à la station SHL2 à 4 profondeurs (0 m, 25 m, 100 m et 200 m) et en tête de pompage à la crépine des stations de potabilisation (eaux brutes) du Prieuré à Genève, de St-Sulpice et de Vevey et de la station de pompage pour la pisciculture de l'INRA à Thonon-les-Bains. Simultanément, les eaux potabilisées (après traitements) des stations du Prieuré (Genève), de St-Sulpice et Vevey ont également été prélevées et analysées (à charge des producteurs d'eau que nous remercions pour la transmission des résultats).

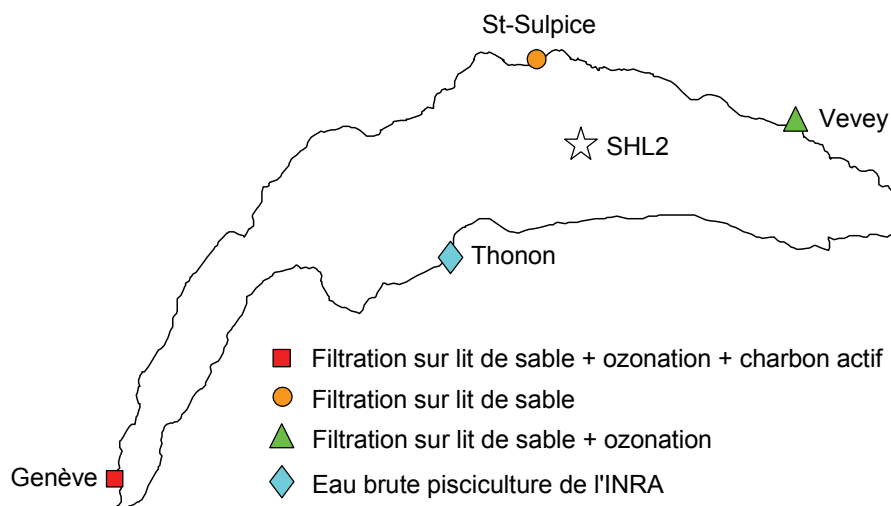


Figure 1 : Situation des points de prélèvement pour les eaux de station de production d'eau potable et de la station SHL2.

Figure 1 : Location of the tap water production sampling sites and the SHL2 station.

3. MÉTHODOLOGIE

Certains métaux et micropolluants organiques sont recherchés dans les eaux du lac à différentes profondeurs (0 - 1 - 5 - 7.5 - 10 - 30 - 100 - 305 - 309 m), après brassage des eaux (avril) et en période de stratification (septembre). Les éléments suivants ont été dosés : manganèse, plomb, cadmium, chrome, cuivre et mercure. La liste des pesticides recherchés dans les eaux du Léman est à peu près la même qu'en 2005 additionnée d'une dizaine de pesticides produits industriellement sur le bassin versant du Rhône amont et de trois nouveaux herbicides (métosulam, flufenacet, diflufenican). Il faut relever la bonne collaboration de deux des principales entreprises productrices de phytosanitaires qui ont fourni la liste complète des substances en production et même parfois un peu de la substance de référence afin de pouvoir intégrer leur recherche dans la méthode d'analyse. Une troisième entreprise doit encore fournir la liste des composés qu'elle synthétise ou formule. Finalement, ce sont encore une quinzaine de pesticides qui seront rajoutés à la méthode de suivi en 2007.

En 2005, certains principes actifs de médicaments ont été mis en évidence soit dans le lac, soit en très forte concentration dans des rejets d'une STEP industrielle (EDDER *et al.*, 2006). Quelques médicaments ont donc été incorporés à la méthode de surveillance des pesticides en cours d'année : il s'agit de la carbamazépine, de la mépivacaïne, de la chlorprocaïne, de la bupivacaïne et de la prilocaïne.

Lors des contrôles 2006, la méthode d'analyse comprenait environ 85 herbicides, 140 fongicides et insecticides et 5 médicaments. La liste des produits recherchés est indiquée en annexe 1.

Pour les micropolluants organiques, les analyses ont été sous-traitées à divers laboratoires :

- Service de protection de la consommation de Genève (SPCo-GE) pour les pesticides et quelques principes actifs de médicaments produits industriellement dans le bassin versant du Rhône valaisan (Chablais) (carbamazépine, mépivacaïne, prilocaïne; bupivacaïne et chlorprocaïne);
- Technologiezentrum wasser (TZW) à Karlsruhe (Allemagne) et Département de chimie environnementale de Barcelone (Espagne) pour les médicaments;
- Service de l'écologie de l'eau de Genève (SECOE) pour les HAP, les parabènes et les nonylphénols;
- Service de protection de l'environnement de Neuchâtel pour le triclosan et les pesticides organochlorés;
- Institut des sciences et technologies de l'environnement (ISTE) de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) pour les analyses des filtres UV et des muscs polycycliques;
- Service de la consommation et des affaires vétérinaires (SCAV-NE) de Neuchâtel pour le glyphosate;
- EAWAG pour le benzotriazole.

L'annexe 2 donne la liste des médicaments et autres substances analysés par les laboratoires allemand et espagnol. L'annexe 3 donne la liste des substances recherchées par les autres laboratoires.

3.1 Analyses chimiques

► **Métaux**

Les analyses de métaux sont effectuées par absorption atomique sur les échantillons d'eau brute acidifiée sans filtration préalable. Il s'agit donc de métaux totaux.

► **Pesticides et substances médicamenteuses produites sur le bassin versant**

La recherche des pesticides, de carbamazépine, mépivacaïne, chlorprocaïne, prilocaïne et bupivacaïne est effectuée sur eaux brutes : ils sont préconcentrés à partir d'un échantillon de 500 mL d'eau passé sur une phase solide. Après élution à l'aide d'un solvant et concentration de ce dernier, l'extrait concentré est analysé par chromatographie en phase liquide couplée à un détecteur de spectrométrie de masse en mode tandem (HPLC/MS-MS). Le principe de cette méthode, appliquée aux contrôles des résidus de pesticides dans les fruits et légumes a été décrit plus en détail par ORTELLI et *al.* (2004 et 2006) et permet de garantir sans ambiguïté l'identité de la substance décelée. Cette manière de procéder est préconisée aujourd'hui dans divers documents officiels (par exemple la directive EEC/657/2002) concernant les performances analytiques des méthodes. Les limites de détection sont données dans l'annexe 1 et sont généralement comprises entre 0.001 et 0.020 µg/L et les incertitudes de mesures de ± 20 %.

► **Médicaments et benzotriazoles**

Les analyses menées par les laboratoires TZW, du Département de chimie environnementale de Barcelone et l'EAWAG sont effectuées avec une méthodologie très similaire à celle appliquée pour les pesticides. Après préconcentration d'un volume d'eau de 400 à 500 mL sur un support d'extraction en phase solide, les extraits sont analysés par HPLC-MS/MS. Les limites de détection sont données aux annexes 2 (médicaments) et 3 (benzotriazole).

► **Nonylphénols**

Après décantation et acidification, l'eau est extraite par extraction liquide-liquide avec du dichlorométhane. La phase organique est ensuite lavée à l'aide d'un tampon à pH = 7, puis extraite en retour avec une solution de NaOH. La phase aqueuse est acidifiée et finalement extraite dans du n-hexane. L'extrait est ensuite concentré et les nonylphénols dosés par GC-MS. Le résultat d'analyse donné correspond à la somme des isomères du nonylphénol. Les limites de détection sont données à l'annexe 3.

► **Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)**

Après décantation, l'eau est extraite par extraction liquide-liquide avec du dichlorométhane. L'extrait est ensuite purifié à travers une courte colonne de silice avec de l'hexane comme solvant d'élution. Après évaporation l'extrait est repris, puis les HAP dosés par HPLC avec une détection fluorimétrique. Les limites de détection sont données à l'annexe 3.

► **Filtres UV**

Pour les filtres UV, l'analyse est effectuée par extraction liquide-liquide avec du pentane, du pentane-ether 1:1 v:v, puis de l'éther sur 700 mL d'eau brute. L'extrait organique est ensuite purifié sur phase solide (SG 60) puis injecté sur GC-MS en mode SIM. Les limites de détection sont données à l'annexe 3.

► **Muscs polycycliques**

L'analyse des muscs polycycliques est effectuée par extraction liquide-liquide avec de l'hexane sur 700 mL d'eau brute. L'extrait organique est ensuite purifié sur phase solide (SG 60) puis injecté sur GC-MS en mode SIM. Les limites de détection sont données à l'annexe 3.

► **Parabènes**

Après décantation et acidification, l'eau est extraite par extraction liquide-liquide dans du dichlorométhane. La phase organique est ensuite extraite en retour avec une solution de NaOH. Après addition de chlorure de calcium, la phase aqueuse est filtrée et lavée avec du dichlorométhane puis acidifiée et réextraite dans du dichlorométhane. L'extrait organique est finalement concentré et les parabènes dosés par HPLC avec détection dans l'UV-Vis. Les limites de détection sont données à l'annexe 3.

► **Triclosan et pesticides organochlorés**

Les pesticides et triclosan sont extraits de l'échantillon liquide avec un mélange dichlorométhane-hexane et ensuite avec de l'hexane. Les extraits sont combinés et concentrés.

Les pesticides et le triclosan sont ensuite identifiés et quantifiés par chromatographie en phase gazeuse couplée à une détection par spectrométrie de masse. Les concentrations sont calculées par standardisation externe et corrigées par un étalon interne. Les limites de détection sont données à l'annexe 3.

► **Glyphosate**

Le dosage du glyphosate, du glufosinate et du produit de dégradation majeur du glyphosate, l'acide aminométhylphosphonique (AMPA) dans l'eau est réalisé selon la méthode de Le Fur et al. (LE FUR, 2000). Après extraction liquide-liquide et dérivatisation au moyen de 9-fluorénylméthylchloroformate (Fmoc), l'extrait est injecté sur un chromatographe en phase liquide à haute pression avec détecteur à fluorescence. Les limites de détection sont données à l'annexe 3.

3.2 Contrôles

La qualité des résultats est assurée par la participation des divers laboratoires à la plupart des procédures d'intercalibration organisées par la CIPEL. Les résultats de ces intercalibrations organisées en 2006 par la CIPEL font l'objet du rapport de STRAWCZYNSKI (2007).

Les laboratoires SPCo-GE, SCAV-NE, TZW et du Département de chimie environnementale de Barcelone sont au bénéfice d'une accréditation selon la norme ISO 17025.

4. RÉSULTATS

4.1 Métaux (tableaux 2 et 3)

Les teneurs en éléments métalliques toxiques (mercure, plomb, cadmium et chrome) demeurent faibles, voire inférieures aux limites de détection et ne posent aucun problème en regard des valeurs recommandées pour les eaux de boisson. Elles sont également du même ordre de grandeur que les teneurs correspondantes observées dans d'autres eaux douces exemptes de pollutions métalliques (CORVI, 1984; SIGG, 1992).

Les concentrations métalliques toxiques pour le poisson, citées dans la littérature (DIETRICH, 1995), varient pour chaque espèce, selon la nature et la forme chimique du métal mais sont bien supérieures aux concentrations observées dans les eaux du lac.

Tableau 2 : Campagne du 24 avril 2006 Léman - Grand Lac (Station SHL 2)

Table 2 : Survey done on April 24, 2006. Lake Geneva - Grand Lac (SHL 2)

Profondeur m	Plomb µg/L	Cadmium µg/L	Chrome µg/L	Cuivre µg/L	Mercure µg/L
0	nd *	nd *	0.2	3	nd *
1	nd	nd	0.2	3	nd
5	nd	nd	nd *	2	nd
7.5	nd	nd	0.5	6	nd
10	nd	nd	nd	3	nd
30	nd	nd	0.1	1	nd
100	nd	0.05	nd	4	nd
305	nd	0.02	0.2	7	nd
fond	nd	nd	nd	3	nd

* = non décelé (plomb < 0.5 µg/L; cadmium < 0.02 µg/L; chrome < 0.1 µg/L; cuivre < 1 µg/L; mercure < 0.1 µg/L)

Tableau 3 : Campagne du 4 septembre 2006 Léman - Grand Lac (Station SHL 2)

Table 3 : Survey done on September 4, 2006 Lake Geneva - Grand Lac (SHL 2)

Profondeur m	Plomb µg/L	Cadmium µg/L	Chrome µg/L	Cuivre µg/L	Mercure µg/L
0	nd *	nd *	0.1	2	nd *
1	nd	nd	0.2	2	nd
5	nd	nd	nd *	2	nd
7.5	nd	nd	0.6	2	nd
10	nd	nd	0.1	2	nd
30	nd	nd	0.1	nd *	nd
100	nd	nd	0.1	3.2	nd
305	nd	nd	0.1	2.0	nd
fond	nd	nd	nd	3.1	nd

* = non décelé (plomb < 1 µg/L; cadmium < 0.02 µg/L; chrome < 0.1 µg/L; cuivre < 1 µg/L; mercure < 0.1 µg/L)

RÉFÉRENCES POUR L'EAU POTABLE :

	Plomb µg/L	Cadmium µg/L	Chrome µg/L	Cuivre µg/L	Mercure µg/L
OMS ¹	10	3	50 ²	2'000	1 ²
CE ³	10	5	50	2'000	1
OSEC ⁴	T	-	-	1'500	-
	L	10	5		

¹ = Organisation Mondiale de la Santé, "Guidelines for Drinking-water Quality", 3rd edition Geneva 2004.

² = Teneurs totales.

³ = Directive 98/83/CE DU CONSEIL du 3 novembre 1998 - Journal officiel des Communautés européennes du 05.12.1998.

⁴ = Ordonnance sur les Substances Etrangères et les Composants (1995) (Office central fédéral des imprimés et du matériel, 3003 Berne).

T = Valeur de tolérance (concentration maximale au-delà de laquelle l'eau est considérée comme souillée ou diminuée d'une autre façon dans sa valeur intrinsèque).

L = Valeur limite (concentration maximale au-delà de laquelle l'eau est jugée impropre à la consommation).

⁵ = Chrome hexavalent.

EXIGENCES RELATIVES À LA QUALITÉ DES EAUX POUR LES COURS D'EAU

(Ordonnance suisse sur la protection des eaux - OEaux du 28 octobre 1998) :

	Plomb µg/L	Cadmium µg/L	Chrome µg/L	Cuivre µg/L	Mercure µg/L
total ⁶	10	0.2	5	5	0.03
dissous	1	0.05	2 ⁷	2	0.01

⁶ = La valeur indiquée pour la concentration dissoute est déterminante.

Si la valeur indiquée pour la concentration totale est respectée, on partira du principe que celle qui est fixée pour la concentration dissoute l'est également.

⁷ = Chrome trivalent et hexavalent.

4.2 Pesticides (phytosanitaires) (annexes 5, 6 et 9; figures 2 et 3)

En 2005, le Service de protection de la consommation de Genève (SPCo) a mis en évidence plus de trente pesticides, principalement des herbicides et des fongicides, dans les eaux du lac à presque toutes les profondeurs et sur tout le pourtour du Léman (EDDER et al., 2006). Prise individuellement, leur concentration respective restait généralement inférieure à la norme par substance (0.1 µg/L), excepté pour le foramsulfuron lors du prélèvement d'octobre 2005 effectué en surface. Les teneurs moyennes en pesticides totaux se situaient aux environs de 0.4 µg/L et se rapprochaient donc toujours plus de la valeur maximale limite de 0.5 µg/L.

L'année dernière (EDDER et al., 2006), nous avons déjà évoqué qu'un grand nombre des pesticides décelés dans le lac, dont en particulier le foramsulfuron et le métalaxyl, étaient amenés par les eaux du Rhône et provenaient de rejets industriels. Les industries, ainsi que l'Etat du Valais, ont pris des mesures (voir le rapport sur le suivi du Rhône, BERNARD et al., 2007) et les résultats de l'année 2006 étaient attendus avec intérêt pour suivre l'efficacité de celles-ci.

Les résultats détaillés de ces campagnes de mesures faites en avril et septembre 2006 sont donnés aux annexes 5 et 6.

Le brassage des eaux du lac en hiver 2005 et 2006 a eu pour conséquence une meilleure homogénéisation du milieu et les concentrations mesurées en 2006 sont relativement stables sur tout le profil de profondeur.

Les figures 2 et 3 montrent l'évolution des concentrations totales en pesticides et en foramsulfuron entre les campagnes 2004, 2005 et 2006.

Les teneurs moyennes en pesticides totaux qui avaient augmenté entre 2004 et 2005, paraissent diminuer en 2006 et se situent aujourd'hui aux environs de 0.3 µg/L. Ces dernières s'éloignent donc un peu de la valeur maximale de tolérance de 0.5 µg/L. Si ce constat est réjouissant, il faut toutefois rester prudent car de nombreuses substances ne sont pas encore incluses dans la méthode d'analyse (substances utilisées dans l'agriculture dans le bassin versant et certaines substances produites industriellement).

L'évolution des concentrations du foramsulfuron (herbicide) montre que la situation, fort inquiétante en 2005, s'est heureusement améliorée grâce à une réduction sensible des apports (voir rapport sur le suivi du Rhône, BERNARD et al., 2007). La concentration moyenne en foramsulfuron se situe aujourd'hui aux alentours de 0.04 µg/L et a donc baissé de moitié en l'espace d'un an. Il semblerait donc que les données de la littérature concernant la stabilité du foramsulfuron indiquant une demi-vie à pH 7.0 de 128 jours (INRA, 2005; FERENC, 2001) correspondent assez à la réalité et que certaines craintes liées à une rémanence beaucoup plus forte en milieu naturel puissent être levées. Il est réjouissant de constater qu'une année après que la CIPEL ait tiré la sonnette d'alarme, les mesures prises aient porté leurs fruits. Cependant, des problèmes subsistent encore pour d'autres productions de pesticides et certaines substances, comme l'amidosulfuron, pour lesquelles des apports importants par le Rhône ont été constatés, montrent une élévation de leur concentration dans le lac.

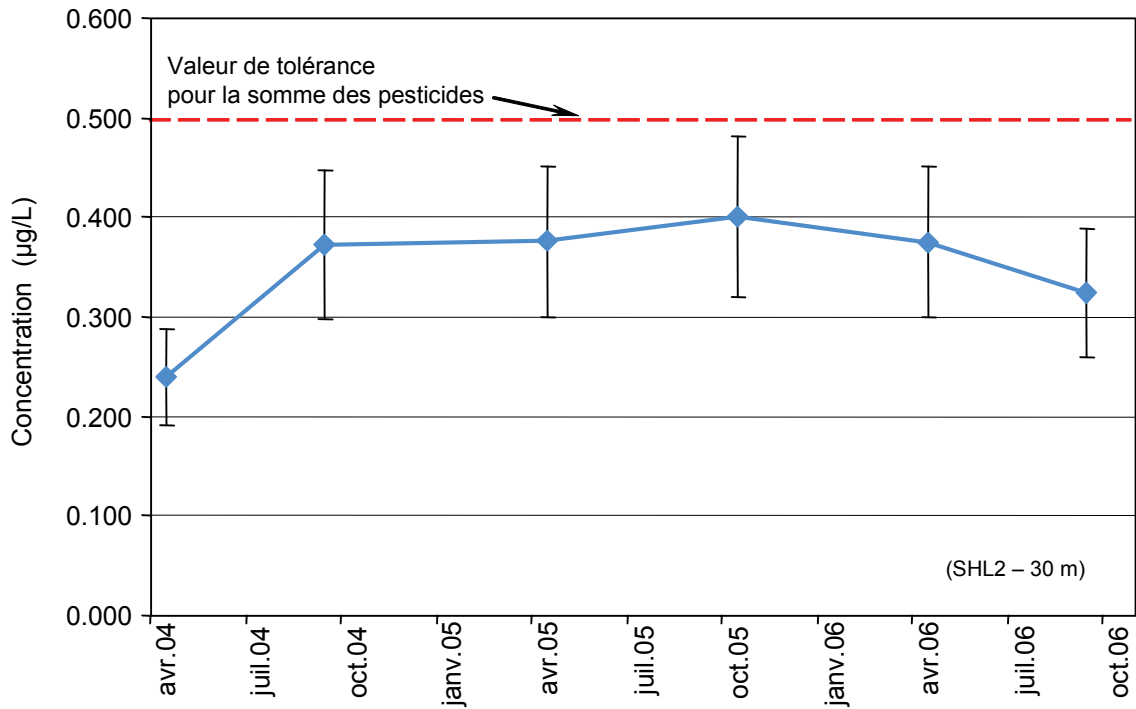


Figure 2 : Evolution des concentrations en pesticides totaux recherchés au centre du Léman (station SHL2) entre 2004,2005 et 2006.

Figure 2 : Change in the total concentrations of the pesticides tested for in the middle of Lake Geneva (SHL2) between 2004, 2005 and 2006.

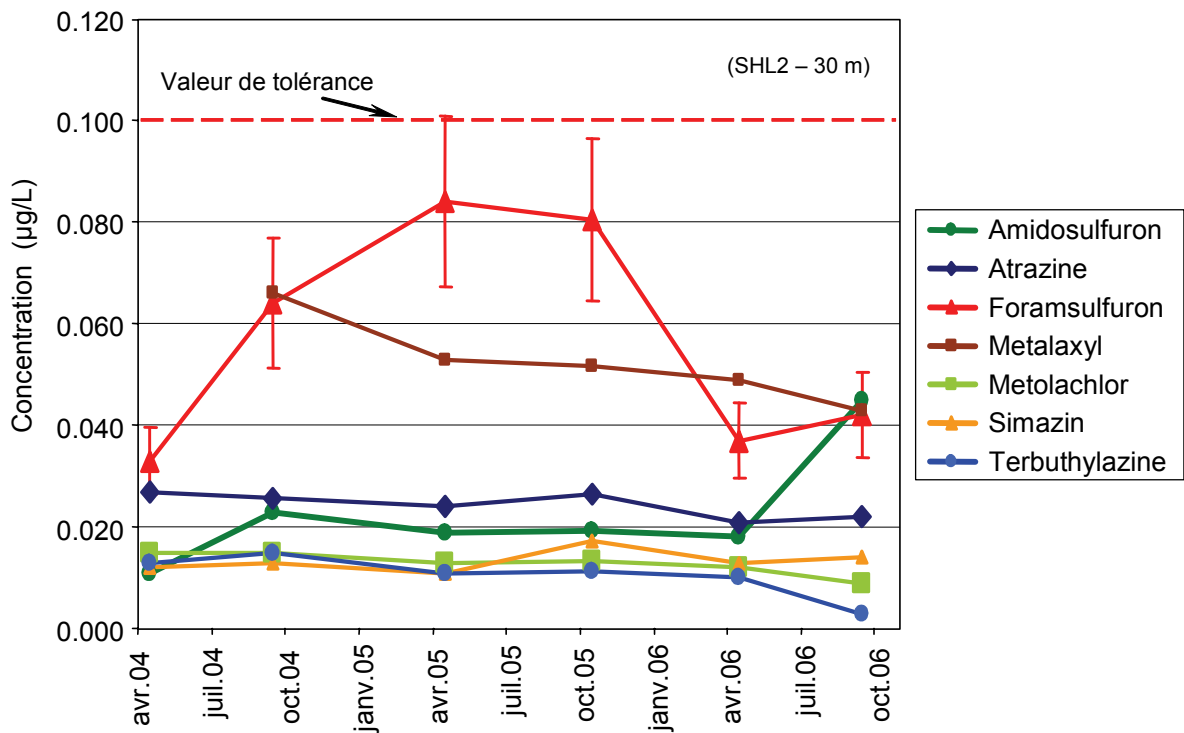


Figure 3 : Evolution des concentrations en divers pesticides au centre du Léman (station SHL2) entre 2004, 2005 et 2006.

Figure 3 : Change in some pesticide concentrations in the middle of Lake Geneva (SHL2) between 2004, 2005 and 2006.

Bien que leur utilisation soit en nette régression, les herbicides de la famille des triazines restent encore décelables dans les eaux du lac. La présence de l'herbicide métolachlore fréquemment associé à l'atrazine dans la culture du maïs est également toujours observée.

Notons encore que certaines analyses complémentaires effectuées par le laboratoire du Service de protection de l'environnement du canton de Neuchâtel ont révélé la présence d'un acaricide, le bromopropylate, dans des teneurs de l'ordre de 0.015 à 0.020 µg/L. Il existe très peu de données quant à l'écotoxicité de cette substance, ce qui ne permet pas une analyse du risque qui lui est lié. La méthode de suivi devra être encore adaptée pour doser un certain nombre de substances non recherchées à l'heure actuelle et susceptibles d'être présentes dans les eaux du Léman.

Ni le glyphosate, ni son produit de dégradation, l'AMPA, n'ont été décelés dans les eaux du lac (limite de détection 40 ng/L). Considérant que le glyphosate est le pesticide le plus largement utilisé, ce résultat peut paraître étonnant. Toutefois, le glyphosate est connu pour être surtout très fortement fixé dans les sols et relativement peu lessivé par les eaux de surface. Néanmoins, les volumes utilisés sont tels que le glyphosate et l'AMPA sont parfois retrouvés dans les eaux de rivières, mais leur faible stabilité en milieu aqueux pourrait expliquer leur absence dans les eaux du Léman.

Comme l'année précédente, toutes les concentrations mesurées sont inférieures à celles fixées pour une eau de boisson (0.1 µg/L par composé et 0.5 µg/L pour la somme des pesticides selon la Directive du Conseil des Communautés européennes - 1998 et l'Ordonnance suisse sur les substances étrangères et les composants, OSEC - 1995). L'Ordonnance suisse sur la protection des eaux (OEaux, 1998), annexe 1, chiffre 3b, stipule que l'eau, les matières en suspension et les sédiments ne doivent pas contenir de substances de synthèse persistantes. Il faut relever que les exigences relatives à la qualité des eaux de cette ordonnance fixent la teneur en pesticides organiques à 0.1 µg/L par pesticide pour les cours d'eau. Cette concentration n'a pas de lien direct avec une éventuelle toxicité envers les organismes, mais se veut au moins aussi sévère que ce qui est exigé pour l'homme (eau de boisson).

Auparavant, la plupart des efforts visant à réduire les rejets en produits phytosanitaires dans l'environnement étaient essentiellement exigés de l'agriculture, or aujourd'hui il apparaît très clairement que la pollution industrielle représente une part importante, sinon prépondérante, des apports dans les eaux du Léman.

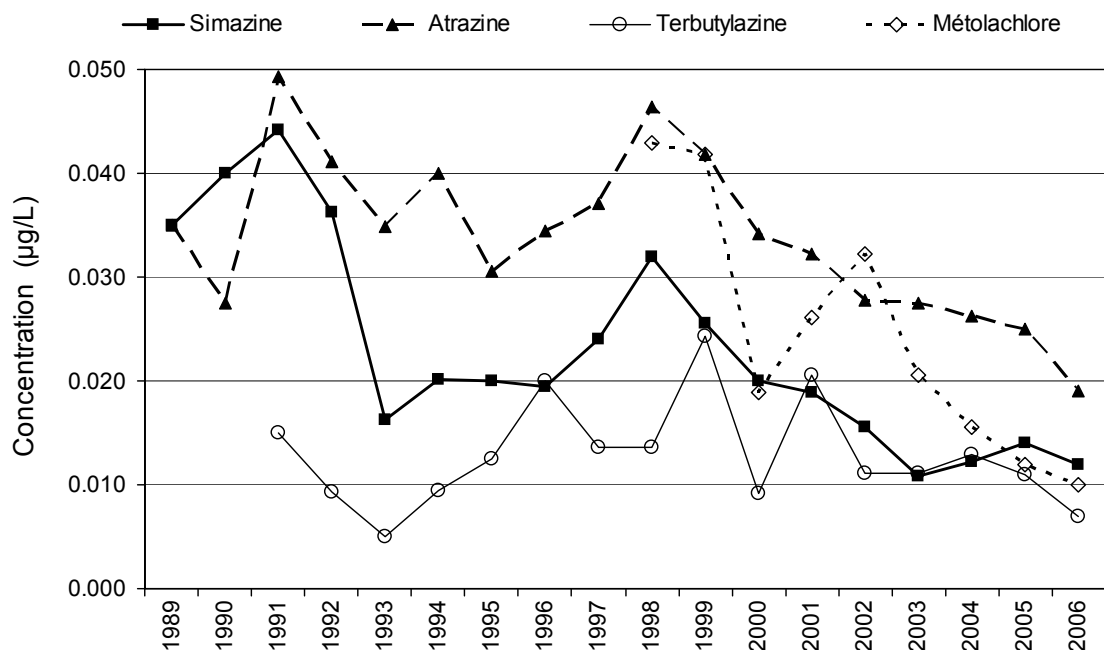


Figure 4 : Evolution des concentrations moyennes en divers pesticides au centre du Léman (station SHL2) entre 1989 et 2006.

Figure 4 : Change in some pesticide concentrations in the missle of Lake Geneva (SHL2) between 1989 and 2006.

4.3 Médicaments (annexe 7, figure 5)

Des recherches de substances médicamenteuses en sortie de stations d'épuration (STEP) et dans le lac avaient déjà été menées en 2005 (EDDER *et al.*, 2006) et il était nécessaire de confirmer certains résultats par un nombre plus élevé de mesures. Les analyses ont donc été reconduites sur des prélèvements à SHL2 à 4 profondeurs différentes et sur 4 points répartis autour du lac (Genève, Thonon, St-Sulpice et Vevey) afin d'avoir une dimension spatiale des résultats. Les eaux après traitements pour la production d'eau potable ont également été analysées.

L'annexe 7 donne la liste des substances mises en évidence dans le lac en 2006 ainsi que leur concentration. La figure 5 présente les concentrations obtenues en fonction de la profondeur pour les analyses de carbamazépine et de mépivacaïne au point SHL2.

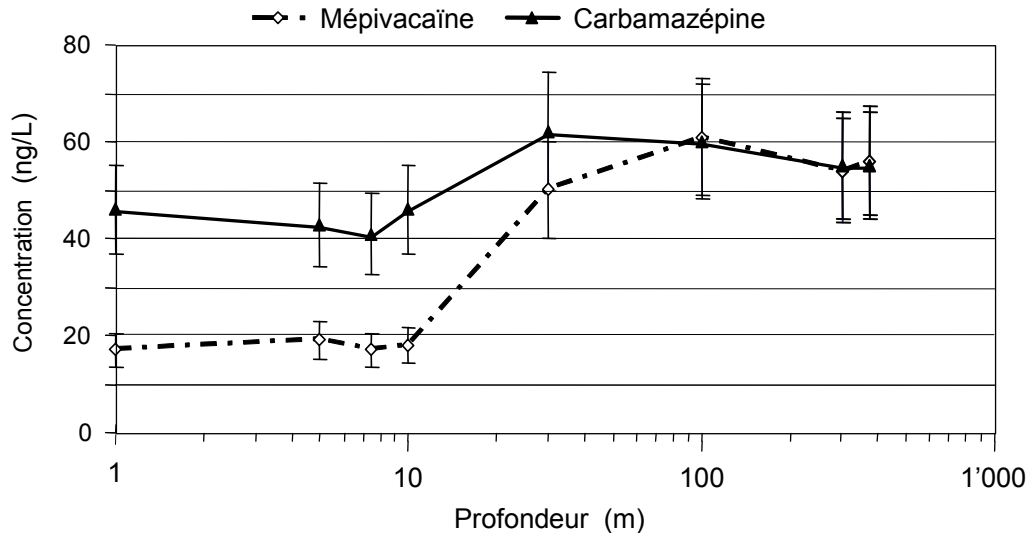


Figure 5 : Evolution des concentrations en mépivacaïne et en carbamazépine en fonction de la profondeur au centre du Léman (station SHL2).

Figure 5 : Change in mepivacaine and carbamazepine concentrations as a function of depth in the middle of Lake Geneva (SHL2).

La mépivacaïne, un anesthésiant utilisé pour des anesthésies locales comme les péridurales, est aujourd'hui la substance médicamenteuse que l'on retrouve en plus forte concentration dans les eaux du Léman (~0.050 - 0.060 µg/L à partir de 30 m). Comme le montre la figure 5, le profil de profondeur indique que ce produit est amené en grande partie par le Rhône via les rejets industriels de la société qui la produit (BERNARD *et al.*, 2007).

Aucune donnée d'écotoxicité sur la mépivacaïne n'a pu être trouvée dans la littérature. Par conséquent, il est impossible, à l'heure actuelle, d'évaluer le risque de cette substance pour l'environnement. Cependant, étant donné les effets secondaires possibles des anesthésiants chez l'être humain (par exemple la mort fœtale ou la dépression respiratoire), il serait nécessaire d'évaluer l'écotoxicité de cette substance.

Deux autres substances de même nature (prilocaine et bupivacaïne) également produites par cette société ont été détectées dans le lac, mais dans des concentrations beaucoup plus faibles.

La présence de carbamazépine dans le lac est confirmée. Il est intéressant de noter que les résultats produits par les 3 laboratoires sont très proches si on tient compte de l'incertitude de mesure qui pour ces teneurs est généralement de l'ordre de 20 %. La concentration relativement élevée mesurée (~0.047 µg/L) représente un déversement de l'ordre de plus de 4 tonnes de carbamazépine. Ceci peut s'expliquer par plusieurs raisons :

- Il entre dans la composition de nombreux médicaments et est beaucoup plus largement utilisé que ce que l'on pense.
- Il est très peu dégradé par les STEP et très stable en milieu aqueux (HEBERER, 2002 ; MAYEUX *et al.*, 2005).
- Une partie des apports a été identifiée comme provenant de pollution industrielle de la part d'une entreprise qui en produit (voir rapport sur le suivi du Rhône, BERNARD *et al.*, 2007).

Cependant, les données de la littérature ne semblent pas conclure à un risque écotoxicologique important du fait de PNEC bien plus élevée (PNEC 0.5 µg/L selon FERRARI *et al.* 2003 et de 2.5 µg/L selon OETKEN *et al.*, 2005) que les teneurs mesurées dans le lac.

Comme pour les pesticides, la responsabilité des industriels quant aux rejets de matières actives reste très engagée et se traduit par la mise en évidence de ces composés dans les eaux du lac. Il faut encore remarquer que de très nombreuses substances médicamenteuses produites industriellement sur le bassin versant n'ont fait encore l'objet d'aucune recherche en raison du manque de laboratoires susceptibles de réaliser ces analyses.

La mise en évidence de quatre produits de contraste iodés (iohexol, iopromide, iomeprol, iopamidol) à de faibles teneurs n'est que peu surprenante étant donné les flux de ces produits mesurés dans les sorties de STEP en 2005. Très peu d'études écotoxicologiques existent pour cette classe de substances mais les quelques données disponibles semblent toutefois montrer qu'elles sont peu toxiques (PNEC de 10 mg/L pour le iopromide) (CHÉVRE, 2007 ; STEGER-HARTMANN *et al.*, 1999).

Trois autres substances ont été décelées en très faible concentration ($< 0,005 \mu\text{g/L}$). Il s'agit du diclofenac (anti-inflammatoire), de l'acide méfénamique (un analgésique, principe actif du Ponstan® médicament très utilisé en Suisse) et du metoprolol (β -bloquant). Pour le diclofenac, une PNEC de 1.16 mg/L est proposée selon FERRARI *et al.* (2003) et pour l'acide méfénamique, une PNEC de 0.43 $\mu\text{g/L}$ selon JONES *et al.* (2002). Pour le metoprolol, E. MAILLARD (2006) a calculé une concentration protégeant 95 % des espèces avec 95 % de probabilité (HC5-95 %) de 16.2 $\mu\text{g/L}$. Ces valeurs semblent indiquer que les concentrations déterminées au sein du lac ne présentent pas de risque important.

La présence de deux antibiotiques de la famille des fluoroquinolones (ciprofloxacine et norfloxacine) mise en évidence en 2005 n'a pas été confirmée. Seules de faibles teneurs en sulfaméthoxazole ont été mesurées lors de la campagne de cette année. Soit ces produits ne sont pas très stables dans le milieu et disparaissent assez rapidement, soit il y a probablement un effet de saisonnalité; des prélèvements réalisés durant l'hiver où la consommation d'antibiotiques est beaucoup plus importante auraient révélé des résultats différents. Cependant, le fait que ces substances ne soient pas fortement rémanentes ne permet pas de conclure quant à leur innocuité sur l'environnement. En effet, leur élimination du biotope n'est peut-être pas uniquement la conséquence d'une photodégradation ou d'une hydrolyse, mais peut également provenir d'une fixation rapide sur les matières en suspension et une accumulation dans les sédiments. Dans ce cas de figure, l'environnement (micro-organismes, faune benthique, ...) est durablement en contact avec ces substances, même si elles ne sont plus présentes en solution. D'ailleurs, certaines mesures dans les sédiments ont montré que des antibiotiques pouvaient s'y trouver en concentrations significatives (HALLING-SOERENSEN *et al.*, 1998).

4.4 Produits cosmétiques (annexe 8)

Les résultats obtenus pour des micropolluants provenant de produits cosmétiques sont présentés à l'annexe 8.

► **Triclosan**

Le triclosan est un agent antibactérien utilisé dans les produits cosmétiques. Il entre notamment dans la composition des produits d'hygiène buccale, de savons et produits de soins intimes, etc. Cette substance est très active et susceptible de poser des problèmes écotoxicologiques, notamment aux algues. Les données écotoxicologiques disponibles permettent de déterminer une PNEC de 0.05 $\mu\text{g/L}$. (CHÉVRE, 2003).

Dans les eaux du lac, seuls les prélèvements de surface, entre 0 et 25 m de profondeur, ont mis en évidence des teneurs en triclosan de l'ordre de 0.025 $\mu\text{g/L}$. En dessous de 25 m, le triclosan n'est plus décelable que ce soit à SHL2 ou aux stations de pompage pour la production des eaux de boisson (prise d'eau à environ 30 m). A ces teneurs, le risque écotoxicologique est faible, le ratio concentrations sur PNEC étant de 0.5, soit inférieur à la valeur critique de 1.

Le fait de ne plus retrouver de triclosan en profondeur peut s'expliquer soit par une dégradation dans le milieu aquatique (hydrolyse, photolyse), soit par des phénomènes d'adsorption sur les particules en suspension et une sédimentation. Cette dernière hypothèse semble la plus probable et fera l'objet d'une vérification en 2007 par la recherche du triclosan dans des échantillons de sédiments du Léman.

► **Muscs polycycliques**

Les muscs polycycliques sont des fragrances fréquemment utilisées dans la parfumerie et notamment dans l'industrie des produits lessiviels. Les résultats présentés à l'annexe 8 montrent que trois de ces substances sont présentes dans les eaux : le galaxolide, le tonalide et le celestolide dans des teneurs, à 25-30 m, comprises respectivement entre 0.011-0.031 $\mu\text{g/L}$, de 0.002-0.004 $\mu\text{g/L}$ et de 0.0003-0.0006 $\mu\text{g/L}$. Il existe relativement peu de données écotoxicologiques sur les muscs polycycliques et il est difficile d'évaluer les risques. Cependant, ces substances sont connues pour avoir la capacité de se fixer aisément aux tissus (y compris aux tissus humains) et sont susceptibles de se bio-accumuler, notamment dans les poissons car elles présentent des $\log K_{ow}$ (coefficient de partage eau-octanol) de 5.9 pour le galaxolide et de 4.6 pour le tonalide (JOSS *et al.*, 2005). Rappelons ici que les substances dont le $\log K_{ow}$ est supérieur à 3 peuvent présenter un risque de bioaccumulation. La CIPEL prévoit de réaliser une campagne relative aux micropolluants présents dans les poissons en 2008 et la recherche de ces substances sera particulièrement intéressante.

► **Filtres UV**

De nombreuses substances ayant la capacité d'absorber les UV sont utilisées dans les crèmes et huiles solaires. Ces molécules entrent également dans la composition de nombreux autres cosmétiques comme des produits de protection des lèvres, des mains, etc. La fraction soluble rejetée par les STEP en Suisse semble faible et de l'ordre du pour-cent (PLAGELLAT *et al.*, 2006 ; KUPPER *et al.*, 2006).

Ces substances sont connues pour être résistantes aux bio-dégradations et photodégradations. Elles sont donc susceptibles de parvenir dans l'environnement aquatique d'une manière ou d'une autre et d'y perdurer.

Les résultats obtenus dans notre étude sont toutefois difficiles à interpréter et il n'est pas exclu que certains problèmes soient survenus, soit lors du prélèvement, soit lors du dosage. Toutefois, il est possible d'observer que deux de ces composés, l'octylméthoxy cinnamate (OMC) et l'octocrylène (OC) ont été mis en évidence dans le Léman avec des teneurs assez élevées, de l'ordre de 0.05-0.20 µg/L. Il sera nécessaire de reconduire ces analyses en 2007 de manière à confirmer ces résultats.

Ces substances à caractères hydrophobes que sont les filtres UV s'adsorbent fortement dans les boues de STEP (PLAGELLAT *et al.*, 2006) et présentent un risque de bioaccumulation en regard d'un coefficient de partage eau-octanol élevé (K_{ow} supérieurs à 10^6 , pour l'octocrylène et le méthoxycinnamate d'octyle pris en compte ici) (PLAGELLAT, 2004). L'écotoxicité des filtres UV n'est pour l'instant pas connue. Comme pour les muscs polycycliques, la recherche de ces substances dans les poissons lors de la campagne CIPEL 2008 serait d'intérêt.

Il faut aussi noter que de nombreux autres filtres UV sont utilisés dans l'industrie cosmétique et ne figurent pas dans la liste des substances recherchées. Dans le futur, il serait donc intéressant de pouvoir élargir le nombre de ces composés à suivre dans les eaux du Léman.

► **Parabènes**

Les parabènes sont des substances utilisées comme conservateur dans une très large gamme de produits cosmétiques. Ils s'y trouvent en concentration relativement élevée et il paraissait intéressant de voir si ces produits se retrouvaient dans les eaux du Léman. Les résultats semblent montrer que les parabènes doivent être soit dégradés efficacement par les STEP, soit décomposés (hydrolyse, photolyse) dans le milieu naturel, puisque les analyses n'en ont pas décelés.

4.5 Micropolluants issus de produits industriels (annexe 9)

► **Nonylphénols**

Les nonylphénols sont une large famille de produits issus de la dégradation des détergents et possédant des propriétés oestrogéniques très importantes (perturbateur endocrinien).

Les analyses effectuées en 2005 avaient montré des teneurs en nonylphénols relativement élevées (EDDER *et al.*, 2006), de l'ordre de 0.080 µg/L, mais cependant inférieures aux PNECs citées dans les récentes études FISCHNETZ (CHÈVRE, 2003). Comme il ne s'agissait que d'un seul point de mesure, ces analyses ont été reconduites cette année mais ont été effectuées par un autre laboratoire. Contrairement aux résultats 2005, les nonylphénols n'ont pas été décelés dans le lac (limites de quantification de 0.01 µg/L pour le 4-tert-octylphénol et de 0.03 µg/L pour la somme des nonylphénols). Des problèmes de méthodologie analytique ont été relevés et il a été demandé au groupe "Méthodologie" de la CIPEL de se pencher sur la question et de faire des tests interlaboratoires sur cette famille afin d'avoir une vision claire des teneurs en nonylphénols dans le Léman. Cette démarche est très importante, car les nonylphénols ont été inscrits comme substances dangereuses prioritaires au sens de la directive 2003/53/CE et ont été interdits (de même que les éthoxylates de nonylphénols) d'emploi et de mise sur le marché depuis le 17 janvier 2005 dans l'Union européenne et par l'Ordonnance ORRCHim (18.05.2005) entrée en vigueur le 01.08.2005 en Suisse.

► **Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)**

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques - abrégés couramment HAP - font partie de la vaste famille des hydrocarbures. On y recense entre autres le naphthalène, l'anthracène, le fluoranthène, le benzo[a]pyrène. Constitués de la condensation de 2 ou plusieurs cycles benzéniques, ils partagent certaines propriétés spécifiques en plus d'une toxicité élevée (certains sont même cancérigènes).

Ce sont des substances insolubles, peu volatiles ; dotées d'une réactivité faible, elles sont toutes très peu biodégradables. Leur dégradation microbienne conduit à des composés (naphtols) plus polaires et donc plus solubles mais toujours toxiques

Les HAP sont plus lourds que l'eau; ils peuvent donc migrer vers le fond et, du fait de leur structure plane et hydrophobe, ils s'adsorbent facilement sur les particules et enrobent les berges des cours d'eau ou des lacs ainsi que les organismes qui y vivent. Ils empêchent donc les échanges vitaux et ralentissent le développement de la flore et de la faune.

Les HAP sont engendrés par la combustion de matières organiques, qu'elle soit d'origine naturelle (incendies de forêts) ou d'origine anthropique (gaz d'échappements, centrales thermiques).

D'autres sources de ces substances sont les industries pétrolières, industries chimiques (colorants), du traitement du bois et du carton ; les travaux routiers (goudrons), les produits d'étanchéification ainsi que l'usage d'antimites sont également des pourvoyeurs de HAP.

Les analyses n'ont pas mis en évidence de HAP dans les échantillons d'eau du Léman. Ce constat est rassurant, mais ne signifie pas pour autant que le biotope en soit exempt. En effet, les HAP sont très peu solubles dans l'eau et s'adsorbent très rapidement sur les particules en suspension. Il est donc beaucoup plus probable d'en retrouver dans les sédiments, et par conséquent dans la chaîne trophique et dans les poissons où ils ont la capacité de se bio-accumuler. Les HAP feront l'objet d'une recherche dans les sédiments en 2007 et dans les poissons en 2008.

► **Benzotriazole**

Le benzotriazole et le tolyltriazole sont des substances principalement utilisées comme inhibiteurs de corrosion dans les circuits ouverts de refroidissement et comme protecteurs de l'argenterie dans les produits détergents. Ils peuvent également être utilisés comme intermédiaire de synthèse dans l'industrie de chimie fine. Les résultats obtenus en 2005 pour les différentes profondeurs au point SHL2 sont assez homogènes avec une valeur moyenne de 193 ng/L en benzotriazole et 48 ng/L en tolyltriazole.

Les concentrations en benzotriazole dans le lac étant élevées, il a paru nécessaire de réaliser de nouvelles analyses pour confirmer ces résultats. Les données 2006 montrent des concentrations avec des valeurs très similaires à celles enregistrées en 2005. Les récents travaux de l'EAWAG (GIGER et al., 2006) semblent clairement indiquer que la pollution du Léman par ces substances est particulièrement importante et cela à toutes les profondeurs. Elle ne peut s'expliquer par le seul usage domestique de la population du bassin. D'autres sources de pollution sont recherchées et des analyses vont être menées sur le Rhône amont en 2007.

Une PNEC de 65 mg/L pour le benzotriazole a été récemment calculée (CHÈVRE, 2007). Les concentrations détectées dans le lac ne semblent donc pas présenter un risque pour les organismes aquatiques. Il faut cependant souligner que le benzotriazole est suspecté d'engendrer des effets cancérigènes (DUTCH EXPERT COMMITTEE ON OCCUPATIONAL STANDARD, 2000).

4.6 Micropolluants et eau potable (annexes 7 et 8)

Les résultats présentés aux annexes 7 et 8 donnent les teneurs en divers micropolluants retrouvées dans les eaux après traitements dans trois stations de production d'eau potable. Les trois installations choisies pour cette étude permettent de comparer l'efficacité d'un traitement complet (Prieuré-Genève) avec des installations moins complètes mais comportant tout de même une étape d'ozonation (Gonelles-Vevey) voire une simple coagulation-filtration¹ sur lit de sable suivie d'une désinfection au chlore (St-Sulpice). Ces différentes filières de traitements ont été décrites en détail dans un précédent rapport (RAMSEIER et al., 2003).

L'étude a englobé 10 familles de substances à classes thérapeutiques ou usages variés. Pour certaines familles, plusieurs substances ont été déterminées (voir annexes 7 et 8).

► **Composés fortement retenus ou dégradés**

La carbamazépine est très bien retenue du fait de sa structure chimique (3 noyaux aromatiques) qui offre une voie facile à un traitement par l'ozone ainsi qu'une élimination par filtration sur charbons actifs grâce à son caractère hydrophobe. Le coefficient de partition eau-octanol supérieur à 100 ($\log K_{ow} = 2.45$) confirme bien cette dernière possibilité (JANEX et al., 2004). Par ailleurs, il a été démontré (BRUCHET et al., 2006) que cette molécule était résistante à une biodégradation lors de la filtration sur berges des eaux de la Seine. Même si elle est peu pratiquée en Suisse, cette technique permet d'appréhender les processus naturels de dégradation de cette substance. Pour ces raisons, seuls l'ozone et les charbons actifs restent des procédures efficaces pour se débarrasser de cet antiépileptique ; aussi n'est-il pas étonnant de retrouver l'intégralité de ce contaminant dans les eaux traitées de la station la plus simple.

Il en va de même pour les agents anti-corrosion de la famille des triazoles ; ceux-ci sont bien abattus pour les motifs identiques (réactivité à l'ozone) exposés ci-dessus et ce en dépit de concentrations dans les eaux brutes trois fois plus élevées que pour la carbamazépine.

Les pesticides étudiés sont également bien retenus (tertbutryne, pendiméthaline) dans les trois filières testées mais nous n'avons pas trouvé d'explication - hormis une manipulation erronée - à la présence élevée de bromopropylate après passage sur une filière multi-barrières (Prieuré) alors que manifestement, ce pesticide est retenu par les deux autres filières ?

Les muscs polycycliques semblent bien être éliminés par un traitement oxydatif (ozone), mais seuls les résultats affichés pour le Galaxolide permettent d'affirmer qu'une part importante est bien abattue.

Pour l'ensemble des substances évoquées ci-dessus (pesticides exceptés), il est intéressant de noter que la simple filtration sur lit de sable n'est pas du tout efficace et que les teneurs mesurées après traitement sont identiques à celles observées en eau brute. Concernant les pesticides, l'étude plus complète menée l'année dernière (EDDER et al., 2006) avait bien mis en évidence que les étapes d'ozonation et de filtration sur charbon actif étaient nécessaires pour obtenir une élimination complète de ces substances.

► **Composés moyennement retenus ou dégradés**

Les produits de contraste iodés sont considérés comme persistants et plus difficilement éliminés par les traitements d'eau classiques (SACHER, 2005 ; VON GUNTEN, 2005). Nos résultats (ponctuels) montrent que l'iohexol est vraisemblablement dégradé par l'ozone à raison de 50 % dans les conditions de traitement rencontrées.

Il est difficile de porter un jugement pertinent sur les trois autres composés de cette famille. En effet, même si l'on note l'absence de ceux-ci dans les eaux traitées, les teneurs mesurées dans les eaux brutes sont trop proches des limites de détection. En tout état de cause, il est indiscutable que les filières à l'ozone permettent de réduire ces substances solubles qui ne sont manifestement pas du tout retenues par une filière simple.

¹ En 2006, la coagulation n'a pas été mise en oeuvre.

Enfin les structures chimiques très voisines de l'iohexol, de l'iopamidol et de l'iomeprol nous portent à penser que ces substances doivent être également abattues d'un facteur deux environ dans les conditions rencontrées.

Une conclusion similaire peut être formulée pour les muscs polycycliques pour lesquels on note aisément un effet du traitement à l'ozone mais les faibles teneurs mesurées avant et après traitement ne permettent pas d'appréhender l'efficacité réelle.

L'acide méfénamique semble aussi être retenu dans des proportions difficiles à estimer.

Enfin il est difficile de tirer des conclusions au sujet du sulfaméthoxazole, du triclosan, du diclofenac et du tébuthame toujours en regard des faibles concentrations mesurées proches des limites de détection.

► **Composés de la famille des filtres UV**

Ces substances présentent une structure chimique riche en oléfines et donc en électrons capables d'absorber les photons ultraviolets solaires (c'est leur rôle !) et par conséquent susceptibles de réagir avec un réactif électrophile comme l'ozone.

Cela est bien le cas pour l'octyle de méthoxycinnamate pour lequel il est constaté un abattement notable mais néanmoins pas aussi complet que l'on aurait pu s'y attendre ; la teneur mesurée dans l'eau traitée (St-Sulpice) est bien plus élevée que pour l'eau brute sans que l'on puisse apporter une explication à ce constat.

A la lumière des résultats affichés pour l'octocrylène, il est difficile de se prononcer sur une conclusion hormis celle qu'il serait nécessaire de réaliser de nouvelles analyses du fait que les teneurs des eaux filtrées sont systématiquement supérieures à celles des eaux brutes...

► **Remarques générales**

Il est maintenant avéré que les eaux du Léman contiennent une palette élargie de micropolluants qui sont indésirables au sein du lac ainsi que dans les eaux potables qui en sont issues. L'ozone, molécule aux propriétés hautement oxydantes semble, selon nos résultats, être un réactif de choix pour se débarrasser de ces contaminants chimiques de synthèse. Il est prudent de relativiser ce constat. En effet, une réaction d'oxydation induit une transformation des substances et non pas leur disparition pure et simple. L'ozonation en milieu aqueux, et ce même à dosage élevé, ne conduit pas non plus à une minéralisation des molécules organiques en dioxyde de carbone (stade ultime de l'oxydation du carbone).

En contrepartie de l'effet voulu (abattement voire disparition des contaminants), il y a production de nouvelles molécules que l'on occulte sciemment ou que l'on ne cherche que très rarement à mesurer. On ignore donc beaucoup de la nature de ces sous-produits ainsi que de leur toxicité...

Des études récentes montrent que la chloration de perturbateurs endocriniens (bis-phénol A et 4-nonylphénol) génère des sous-produits chlorés qui peuvent potentiellement présenter une activité biologique (DEBORDE et al., 2006). C'est la raison pour laquelle le traitement à l'ozone est généralement couplé à une filtration sur charbons actifs afin de retenir la plus grande partie possible (jamais l'intégralité) des sous-produits générés.

A cela il faut ajouter que les traitements à l'ozone sont complexes à mettre en oeuvre et donc occasionnent des coûts (investissement et exploitation) élevés. De surcroît, les doses appliquées doivent être correctement régulées sous peine de générer d'autres sous-produits toxiques (bromates), colorés (permanganates), sapides (aldéhydes, cétones) voire trop polaires pour être convenablement retenus par les charbons actifs.

On peut aussi exploiter les propriétés oxydantes du chlore pour dégrader certains perturbateurs endocriniens telles les hormones naturelles ou de synthèses (DEBORDE et al., 2006) mais le couple dose-temps de contact plutôt élevé (C·t : 50 mg·L⁻¹·min) est difficile, sinon impossible, à mettre en oeuvre au sein des stations de potabilisation actuelles.

Enfin la filtration traditionnelle sur lit de sable montre ses limites quant à l'éradication des micropolluants. Rares sont les substances étudiées dans cette campagne qui sont fortement réduites par ce mode de traitement. Celui-ci a tout de même une influence sur certains pesticides (EDDER et al., 2006) ou lorsque la filtration a lieu à une vitesse suffisamment lente pour qu'une biodégradation puisse avoir lieu (BRUCHET et al., 2006) comme lors d'une filtration sur berges.

Ainsi, la problématique des micropolluants risque peu à peu de contraindre les distributeurs d'eau à user de filières de traitement de plus en plus sophistiquées pour se débarrasser au mieux de ces contaminants afin de respecter les législations actuelles ou futures.

5. CONCLUSIONS

- ▶ **Métaux lourds** : Les teneurs en métaux lourds des eaux du Léman demeurent faibles et satisfont pleinement aux exigences requises pour les eaux de boisson et la vie piscicole. La teneur en cuivre dépasse à certaines profondeurs, l'exigence de l'OEaux fixée à 2 µg/L.
- ▶ **Pesticides** : Les concentrations en pesticides dans le lac paraissent être stabilisées et même, pour certaines d'entre elles, avoir diminué. Cette tendance devra cependant être confirmée dans les années à venir. La teneur en foramsulfuron dans le lac est aujourd'hui redescendue à des valeurs inférieures à la NOEC estimée à 0.04 µg/L. L'amidosulfuron a certes augmenté dans le lac, mais les analyses menées sur les apports via le Rhône montrent que ceux-ci ont fortement diminué. Il est donc probable que la tendance observée pour le foramsulfuron se répète également pour l'amidosulfuron si les apports demeurent maîtrisés, ce qui doit encore être confirmé en 2007. Le rôle de la CIPEL en tant qu'organe de surveillance est bien illustré par ce cas, puisque suite à l'alerte lancée en 2004-2005, des résultats probants sont déjà mesurables dans le lac aujourd'hui. Toutefois, un certain nombre de substances, dont certaines sont produites industriellement, ne sont pas encore incluses dans la méthode de suivi et la vigilance reste de mise.
- ▶ **Médicaments** : Les travaux complémentaires effectués en 2006 afin d'obtenir une meilleure vision de l'état du lac quant à cette problématique ont montré leur pertinence et doivent être poursuivis, voire renforcés. Certains résultats ont été confirmés (carbamazépine), d'autres pas (antibiotiques de la classe des fluoroquinolones). Comme pour les pesticides, plusieurs médicaments dont l'origine est la production industrielle sur le Rhône amont ont été mis en évidence. Des mesures devront également être prises par les industries pour ces substances et il est impératif que les organes de contrôle se dotent des moyens nécessaires pour être capables de suivre ces substances. Aujourd'hui, seules quelques unes d'entre elles font l'objet d'analyses. D'autre part, les données écotoxicologiques dans ce domaine sont bien trop lacunaires ce qui rend très difficile toute évaluation fiable des risques encourus par les biocénoses.
- ▶ **Autres micropolluants** : Les recherches de substances issues de cosmétiques ou provenant de produits industriels se sont révélées intéressantes. Des résidus de filtres UV, de muscs polycycliques, de triclosan et de benzotriazole ont été relevés. L'évaluation du risque que représente ces substances pour l'environnement doit encore faire l'objet de recherches et dans certains cas de nouvelles mesures seront nécessaires. Les teneurs en benzotriazole dans le Léman sont plus importantes que dans d'autres lac (par rapport au bassin de population) et d'autres sources de pollution que son usage domestique doivent être recherchées.
- ▶ **Micropolluants dans l'eau potable** : Des analyses d'eau potable après traitements dans les différentes stations situées sur le pourtour du Léman montrent que seuls les processus de potabilisation les plus complets (filtration sur sables + ozonation + filtration sur charbon actif) réduisent significativement les teneurs en micropolluants. Pour la plupart de ces substances, comme pour le benzotriazole, il n'y a pas de valeur normative pour l'eau potable. Toutefois, aux teneurs mesurées, ces micropolluants ne représentent a priori pas de danger pour la santé humaine. Cependant les effets de mélanges (synergies) sont peu connus et ces conclusions doivent être considérées avec une certaine réserve, même sans évoquer le fait que ces composés sont bien évidemment indésirables aux robinets des consommateurs.

Les résultats collectés ces deux dernières années indiquent clairement que la production d'eau potable au moyen d'un traitement simple (l'un des objectifs initial de la CIPEL !) n'est techniquement déjà plus envisageable. En effet, l'élimination de la plupart des substances anthropiques détectées au sein du lac passe par une filière qui inclut pour le moins une oxydation à l'ozone.

BIBLIOGRAPHIE

- BERNARD, M., ARNOLD, C., EDDER, P. et ORTELLI, D. (2007) : Micropolluants dans les eaux du Rhône. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2006, 163-172.
- BRUCHET, A., HOCHEREAU, C., RODRIGUES, J.-M. et JANEX-HABIB, I. M.-L. (2006) : Composés pharmaceutiques et produits d'hygiène : analyse d'indicateurs pour l'évaluation du risque sanitaire. TSM, 12, 43-51.
- CHÈVRE, N. (2007) : Estimation de l'écotoxicité des substances retrouvées dans le Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2006, 173-186.
- CHÈVRE, N. (2003) : Risk assessment of 6 different substances occurring in Swiss rivers. Teilprojekt 02/01, Fischnetz-publication, Synthese Ökotox, EAWAG.
- CORVI, C. (1984) : Métaux en traces. In : Le Léman, Synthèse 1957-1982, Ed. par Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Chapitre 3.2.11, page 207, tableau 3.
- DEBORDE, M., DUGUET, J.-P., BARRON, E., RABOUAN, S. et LEGUBE, B. (2006) : La chloration et l'ozonation des eaux : quels effets sur les perturbateurs endocriniens ? TSM, 12, 61-67.
- DIETRICH, D. (1995) : Kritische Beurteilung der ökotoxikologischen Aussagekraft von Schwermetallanalysen in Fischen aus schweizerischen Gewässern. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg., 86, 213-225.

- DIRECTIVE 98/83/CE DU CONSEIL du 3 novembre 1998 - Journal officiel des Communautés européennes du 05.12.1998.
- DUTCH EXPERT COMMITTEE ON OCCUPATIONAL STANDARD (DECOS) (2000) : 1,2,3 Benzotriazole. Health Council of the Netherlands, publication 2000/14OSH, 134-137.
- EDDER, P., ORTELLI, D. et RAMSEIER, S. (2006) : Métaux et micropolluants organiques. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2005, 56-78.
- FERENC, S.A., (2001) : Impacts of low-dose, high-potency herbicides on nontarget and unintended plant species. Pensacola, FL, US: SETAC (www.setac.org).
- FERRARI, B., PAXEUS, N., GIUDICE, R.L., POLLIO, A. et GARRIC, J.,(2003) : Ecotoxicological impact of pharmaceuticals found in treated wastewaters : study of carbamazepine, clofibrac acid and diclofenac, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 55, 359-370.
- GIGER, W., SCHAFFNER, C. et KOHLER, H.-P. (2006) : Benzotriazole and tolyltriazole as aquatic contaminants. 1. Input and occurrence in rivers and lakes. *Environ, Sci. Technol.*, 40, 7186-7192.
- HALLING-SOERENSEN, B., NORS NIELSEN, S., LANZKY, P.F., INGERSLEV, F., HOLTEN LUETZHEFT, H.C. et JORGENSEN, S.E. (1998) : Occurrence, fate and effects of pharmaceutical substances in the environment - a review. *Chemosphere*, 36, 357-393.
- HEBERER, T. (2002) : Occurrence, fate and removal of pharmaceutical residues in the aquatic environment : a review of recent research data. *Toxicology letters*, 131, 5-17.
- INRA (2005) : Base de donnée AGRITOX : www.inra.fr/agritox
- JANEX, M.-L., BRUCHET, A. et TERNES, T. (2004) : Effet des traitements d'eau potable et d'épuration des eaux usées sur les résidus médicamenteux. Résultats du projet Poséidon. *TSM*, 11, 59-66.
- JONES, O.A.H., VOULVOULIS, N. et LESTER, J.N. (2002) : Aquatic environmental assessment of the top 25 english prescription pharmaceuticals. *Water Research*, 36(20), 5013-5022.
- JOSS, A., KELLER, E., ALDER, A.C., GOEBEL, A., MC ARDELL, C.S., TERNES, T. et SIEGRIST, H. (2005) : Removal of pharmaceuticals and fragrances in biological wastewater treatment. *Water research*, 39, 3139-3152.
- KUPPER, T., PLAGELLAT, C., BRAENDLI, R.C., DE ALENCASTRO, L.F., GRANDJEAN, D. et TARRADELLAS, J. (2006) : Fate and removal of polycyclic musks, UV filters and biocides during wastewater treatment. *Water Research*, 40, 2603-2612.
- LAZZAROTTO, J. et RAPIN, F. (2007) : Evolution physico-chimique des eaux du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2006, 33-57.
- LE FUR, E., COLIN, R., CHARRETEUR, C., DUFAU, C. et PERON, J.-J. (2000) : Determination of glyphosate herbicide and AMPA in natural waters by HPLC using pre-column fluorogenic labeling. Part I : Direct determination at the 0.1 µg/L level using FMOC. *Analisis*, 28, 813-818.
- MAILLARD, E. (2006) : Analyse du risque écotoxicologique d'insecticides et de médicaments dans l'environnement aquatique. Travail pratique de master, SSIE-EPFL.
- MAYEUX, V., COURTOIS, G., FENET, H. et CASELLAS, C. (2005) : Impact sanitaire des effluents hospitaliers de l'agglomération de Montpellier. Master Pro2. de l'Université de Montpellier I.
- OEaux (1998) : Ordonnance du 28 octobre 1998 sur la protection des Eaux (Suisse, état au 18 novembre 2003)
- OETKEN, M., NENTWIG, G., LOEFFER, D., TERNES, T., et OELHLMANN, J. (2005) : Effects of pharmaceuticals on aquatic invertebrates. Part I. The antiepileptic drug carbamazepine. *Arch. Environ., Contam. Toxicol.*, 49, 353-361.
- ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ (2004) : "Guidelines for Drinking-water Quality", 3rd edition Geneva.
- OSEC (1995) : Ordonnance du 26 juin 1995 sur les Substances Etrangères et les Composants (état novembre 2005) (Suisse).
- ORTELLI, D., EDDER, P. et CORVI, C. (2004) : Multiresidue analysis of 74 pesticides in fruits and vegetables by liquid chromatography-electrospray-tandem mass spectrometry. *Anal. Chim. Acta*, 520, 33-45.
- ORTELLI, D., EDDER, P. et COGNARD, E. (2006) : Recent advances in pesticides residues analysis in food and in environmental samples. *Trav. Chim. Alim. Hyg.*, 97, 275-287.
- PLAGELLAT, C., KUPPER, T., FURRER, R., DE ALENCASTRO, L. F., GRANDJEAN, D. et TARRADELLAS J. (2006) : Concentrations and specific loads of UV filters in sewage sludge originating from a monitoring network in Switzerland. *Chemosphere*, 62, 915-925.

- PLAGELLAT, C. (2004) : Origines et flux de biocides et de filtres UV dans les stations d'épuration des eaux usées. Thèse no 3053, EPFL.
- RAMSEIER, S., MANTEGAZZI, D. et BERSIER Y. (2003) : Qualité des eaux potables produites à partir du Léman Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2002, 123-138.
- SACHER, F. (2005) : Lod -haltige Röntgenkontrastmittel in der Umwelt. GWA, 10, 787-795.
- SIGG, L. (1992) : Les métaux lourds dans les cours d'eau. Nouvelles de l'EAWAG, 32, 32-35.
- STEGER-HARTMANN, T, LANGE, R. et SCHWEINFURTH, H. (1999) : Environmental risk assessment for the widely used iodinated X-ray contrast agent iopromide (Ultravist). Ecotoxicology and Environmental Safety, 42, 274-281.
- STRAWCZYNSKI, A. (2007) : Analyses comparatives interlaboratoires. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2006, 225-233.
- VON GUNTEN, U. (2005) : Verminderung der Konzentration von Spurenstoffen. GWA 1, 53-59.

Produits phytosanitaires recherchés.
Pesticides (crop treatments) survey.

ANNEXE 1

Herbicides : (les limites de détection sont comprises entre 0.001 et 0.10 µg/L)

Acetochlor	Cycloxydim	MCPB	Propanil
Alachlor	Dichlorprop-methyl	Mecoprop	Propaquizafop
Amidosulfuron	Dichlorprop-P	Metamitron	Propazine
Amitrole	Difenoxyuron	Methabenzthiazuron	Propham
Asulam	Dimefuron	Metobromuron	Propyzamide
Atrazine	Dimethachlor	Métolachlore	Prosulfocarb
Atrazine-2-hydroxy	Dimethenamid	Metoxuron	Pyridate
Atrazine-desethyl	Dinoseb	Metribuzin	Quizalofop-P-Ethyl
Atrazine-desisopropyl	Dinoterb	Metsulfuron-methyl	Simazin
Aziprotryne	Diuron	Monolinuron	Tebutam
Bentazone	Fenuron	Monuron	Tepraloxymid
Bifenox	Fluazifop-butyl	Napropamid	Terbacil
Bromacil	Fluroxypyr	Norflurazon	Terbuthylazine
Chlorbromuron	Foramsulfuron	Orbencarb	Terbuthylazine-2-hydroxy
Chloridazon	Haloxypop-methyl	Oryzalin	Terbuthylazine-desethyl
Chlorotoluron	loxynil	Oxadiazon	Terbutryn
Chloroxuron	Isoproturon	Pendimethalin	Thifensulfuron-methyl
Chlorpropham (CIPC)	Lenacil	Phenmedipham	Triasulfuron
Clopyralid	Linuron	Prometryn	Triclopyr
Cyanazin	MCPA	Propachlor	Trifluralin

Fongicides, insecticides et acaricides :

Acetamiprid	Difenoconazole	Imazail	Pymetrozine
Aldicarb	Diflubenzuron	Imidacloprid	Pyridaben
Aldicarb-sulfoxide	Dimethoate	Indoxacarb	Pyrifenox
Aldoxycarb	Dimethomorph	lprovalicarb	Pyrimethanil
Anilazine	Dimetilan	Isazofos	Pyriproxyfen
Azametiphos	Dinocap	Lufenuron	Spinosad
Azoxystrobin	Diphenylamine	Mecarbam	Spirodiclofen
Bendiocarb	Disulfoton	Mepanipyrim	Spiroxamine
Benfuracarb	Epoxyconazole	Metalaxyl	Tebuconazole
Benodanil	Ethiophencarb	Methiocarb	Tebufenozide
Benthiavalicarb-isopropyl	Fenamidone	Methomyl	Tebufenpyrad
Benzoximate	Fenarimol	Metolcarb	Teflubenzuron
Bromuconazole	Fenazaquin	Monocrotophos	Terbufos
Buprofezin	Fenbuconazole	Myclobutanil	Thiabendazole
Butocarboxym	Fenhexamid	Omethoate	Thiacloprid
Carbaryl	Fenoxycarb	Oxadixyl	Thiobencarb
Carbendazim	Fenpropathrin	Oxamyl	Thiodicarb
Carbofuran	Fenpropimorph	Oxine	Thiofanox
Carboxin	Fipronil	Phenthoate	Thiometon
Chlorfluazuron	Fludioxonil	Phosalone	Thiophanate-ethyl
Clofentezine	Flufenoxuron	Pirimicarb	Thiophanate-methyl
Cymoxanil	Fluquinconazole	Prochloraz	Tolclophos-methyl
Cyproconazole	Flutriafol	Promecarb	Tridemorph
Cyprodinil	Fuberidazole	Propamocarb	Triflumizole
Diafenthiuron	Furathiocarb	Propetamphos	Triflumuron
Dicrotophos	Hexaflumuron	Propiconazole	Triforine
Diethofencarb	Hexythiazox	Propoxur	Vamidothion

<p>Analgésiques, antipyrétiques, antiphlogistiques</p> <p>Diclofenac Indometacine Paracetamol Ibuprofen Naproxen Ketoprofen Fenoprofen</p>	<p>Bêta-bloquants</p> <p>Metoprolol Bisoprolol Betaxolol Propranolol Sotalol Atenolol Pindolol</p>	<p>Anhydro-erythromycin Spiramycin Oxacillin Nafcillin Sulfadimidine Metronidazole Dapsone Oleandomycin</p>
<p>Hypolipidémiants</p> <p>Clofibrac acid Etofibrate Bezafibrate Fenofibrate Gemfibrozil Fenofibrac acid Simvastatin</p>	<p>Antinéoplastiques</p> <p>Ifosfamide Cyclophosphamide</p>	<p>Roxithromycin Tylosin Cloxacillin Penicillin G</p>
<p>Antiepileptique</p> <p>Carbamazepine</p>	<p>Produits de contraste rayons X</p> <p>Iopamidol Amidotrizoic acid Iotalamic acid Iopromide Iodipamide Ioxaglic acid Iomeprol Iohexol Ioxitalamic acid</p>	<p>Clindamycin Azithromycin Ciprofloxacin Norfloxacin Enrofloxacin Enoxacin Ofoxacin Oxytetracycline Doxycycline Tetracycline Meclocycline</p>
<p>Vasodilateur</p> <p>Pentoxifylline</p>	<p>Antibiotiques</p> <p>Sulfamethoxazole Sulfamerazine Furazolidone Chloroamphenicol Erythromycin Clarithromycin Amoxicillin Dicloxacillin Penicillin V Sulfadiazine Ronidazole Trimethoprim Virginiamycin</p>	<p>Chlorotetracycline</p>
<p>Tranquillisants</p> <p>Diazepam Venlafaxine</p>		
<p>Analgésiques</p> <p>Phenazone Pimethylaminophenazone Propyphenazone</p>		
<p>Broncholytiques, sécretolytiques</p> <p>Salbutamol Clenbuterol Terbutaline</p>		

Limites de détection : 10 ng/L; Limites de quantification : 50 ng/L

Liste des médicaments recherchés par le laboratoire de Chimie environnementale de Barcelone et limites de détection et de quantification (MDL et MQL) de la méthode.

Drugs and endocrine disrupters analysed by the laboratory of environmental chemistry of Barcelona and detection and quantification limits for the method (MDL, MQL).

Groupe thérapeutique	Compounds	MDL (ng/L)	MQL (ng/L)
Analgésiques et anti-inflammatoires	Kétoprofen	30	70
	Naproxen	7	20
	Ibuprofen	8	42
	Indométhacine	6	20
	Diclofenac	2	5
	Acide Méfénamique	0.5	1
	Acetaminophen	17	40
	Propyphenazone	3	23
Hypolipidémiantss	Acide Clofibrigue	1	3
	Gemfibrozil	1	3
	Bezafibrate	1	4
	Pravastatine	47	160
	Mevastatine	7	24
Anxiolitiques	Carbamazépine	2	10
	Fluoxetine	20	66
	Paroxetine	8	20
Agent Antiulcère	Lansoprazole	5	16
Anti-histaminiques H1 et H2	Loratadine	2	7
	Famotidine	5	18
	Ranitidine	2	5
Antibiotiques	Erythromycin	4	14
	Azythromycin	1	3
	Sulfamethoxazole	5	10
	Trimethoprim	1	4
	Ofloxacin	16	56
β-bloquants	Atenolol	9	30
	Sotalol	18	60
	Metoprolol	3	12
	Propranolol	2	7

Liste des autres micropolluants recherchés dans les eaux du Léman et limites de détection correspondantes.

ANNEXE 4

Other micropollutants analysed in lake of Geneva waters and Corresponding detection limits.

Pesticides (Service protection de l'environnement - Neuchâtel)		Lim. Détec.	Lim. Quant.
Alachlore	ng/L	2	5
Bromopropylate	ng/L	2	5
Chlorpyrifos	ng/L	2	5
Diazinon	ng/L	3	9
Endosulfan sulfate	ng/L	3	8
Endosulfan-alpha	ng/L	4	12
Endosulfan-beta	ng/L	3	10
Lindane	ng/L	2	7
Pendiméthaline	ng/L	3	10
Procymidone	ng/L	2	7
Tébutame	ng/L	2	4
Terbutryne	ng/L	2	5
Trifluraline	ng/L	2	4

Triclosan (Service protection de l'environnement - Neuchâtel)		Lim. Détec.	Lim. Quant.
Triclosan	ng/L	3	9

Glyphosate (Service de la consommation et des affaires vétérinaires - Neuchâtel)		Lim. Détec.	Lim. Quant.
Glyphosate	ng/L	40	
AMPA	ng/L	40	
Gluphosinate	ng/L	40	

Muscs et filtres UV (Inst. des sciences et technologies de l'environ. ISTE - EPFL)		Lim. Détec.	Lim. Quant.
Polycyclic musks (PCMs)			
Galaxolide (HHCB)	ng/L	0.2	0.7
Tonalide (AHTN)	ng/L	0.6	2
Celestolide (ADBI)	ng/L	0.1	0.4
Phantolide (AHDl)	ng/L	0.4	1.5
Traseolide (ATII)	ng/L	0.4	1.5
Cashmeran (DPMI)	ng/L	0.2	0.7
Filtres UV			
3-(4-methylbenzylidene) camphor 4-MBC	ng/L	0.6	2
Octyl-methoxycinnamate OMC	ng/L	0.1	0.4
Octocrylène OC	ng/L	0.6	2
Octyl-triazone OT	ng/L	41	134

Benzotriazoles (Environmental chemistry - EAWAG)		Lim. Détec.	Lim. Quant.
Benzotriazol	ng/L	8	25
Tolyltriazol	ng/L	3	8

Nonylphénols (SECOE - Domaine de l'eau - Genève)		Lim. Détec.	Lim. Quant.
4-tert-octyl-phénol	ng/L		10
Somme des nonyl-phénols	ng/L		30

HAPs (SECOE - Domaine de l'eau - Genève)		Lim. Détec.	Lim. Quant.
Naphtalène	ng/L		50
Acenaphthylène	ng/L		100
Acenaphthène	ng/L		50
Fluorène	ng/L		10
Phénanthrène	ng/L		5
Anthracène	ng/L		5
Fluoranthène	ng/L		10
Pyrène	ng/L		5
Benzo(a)anthracène	ng/L		5
Chrysène	ng/L		5
Benzo(b)fluoranthène	ng/L		10
Benzo(k)fluoranthène	ng/L		5
Benzo(a)pyrène	ng/L		5
Dibenzo(a)anthracène	ng/L		10
Indeno(1,2,3-c,d)pyrène	ng/L		10
Benzo(g,h,i)pérylène	ng/L		5

Parabènes (SECOE - Domaine de l'eau - Genève)		Lim. Détec.	Lim. Quant.
Méthylparabène	ng/L		20
Ethylparabène	ng/L		20
Propylparabène	ng/L		20
Butylparabène	ng/L		20
Isobutylparabène	ng/L		20

Produits phytosanitaires décelés dans le lac - prélèvement SHL2 du 24 avril 2006.
Pesticides survey in the lake- SHL2 sampling of 24 april 2006.

ANNEXE 5

Concentration en pesticide (µg/L) Prélèvement SHL2 du 24.6.2006	Type	Profondeur (m)								
		0 m	1 m	5 m	7.5 m	10 m	30 m	100 m	305 m	309 m
Amidosulfuron	Herbicide	0.018	0.016	0.017	0.015	0.016	0.014	0.014	0.014	0.014
Atrazine	Herbicide	0.021	0.018	0.020	0.021	0.018	0.020	0.020	0.021	0.023
Atrazine-2-hydroxy	Herbicide	0.011	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.010	0.009	0.010
Atrazine-desethyl	Herbicide	0.019	0.016	0.016	0.013	0.012	0.012	0.017	0.016	0.018
Atrazine-desisopropyl	Herbicide	0.009	0.008	0.009	0.009	0.013	0.009	0.010	0.010	0.009
Azoxystrobin	Fongicide	0.002			0.002					
Carbendazim	Fongicide	0.007	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002		0.002
Chlorotoluron	Herbicide	0.007	0.007	0.007	0.008	0.007	0.008	0.009	0.008	0.008
Cyproconazole	Fongicide	0.008	0.005	0.003	0.003	0.004	0.004	0.004	0.002	0.002
Cyprodinil	Fongicide	0.004	0.002	0.004	0.002	0.004	0.003			
Difenoconazol	Fongicide	0.007	0.004	0.004	0.006	0.005	0.004	0.002	0.004	0.002
Dimefuron	Herbicide	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001		0.001
Dimethachlor	Herbicide	0.003	0.003	0.003	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
Dimethenamid	Herbicide	0.005	0.003	0.003	0.004	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002
Dinoterb	Herbicide	0.004	0.004	0.004	0.005	0.005	0.017	0.007	0.005	0.006
Diuron	Herbicide	0.010	0.008	0.008	0.008	0.007	0.007	0.007	0.007	0.008
Ethoxysulfuron	Herbicide	0.003	0.003	0.004	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.004
Fenarimol	Fongicide	0.004	0.004	0.006	0.006	0.006	0.006	0.007	0.007	0.007
Fenuron	Herbicide	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001
Fluazifop-butyl	Herbicide			0.006						0.001
Flurprimidol	Rég. croiss.	0.004	0.003	0.006	0.004	0.004	0.005	0.004	0.003	0.005
Foramsulfuron	Herbicide	0.037	0.034	0.036	0.036	0.032	0.031	0.035	0.034	0.037
Haloxypop	Herbicide			0.001						
Iodosulfuron-methyl	Herbicide	0.008	0.007	0.007	0.005	0.007	0.005	0.004	0.005	0.006
Isoproturon	Herbicide	0.006	0.007	0.007	0.007	0.007	0.008	0.008	0.006	0.007
Linuron	Herbicide	0.002	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002
Mecoprop	Herbicide	0.006	0.007	0.007	0.006	0.009	0.008	0.004	0.004	0.006
Metalaxyl	Fongicide	0.049	0.042	0.045	0.045	0.041	0.043	0.046	0.043	0.050
Methabenzthiazuron	Herbicide	0.002	0.001	0.002	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001
Metobromuron	Herbicide	0.007	0.007	0.006	0.007	0.005	0.005	0.007	0.006	0.007
Metolachlor	Herbicide	0.012	0.010	0.011	0.014	0.011	0.012	0.013	0.012	0.016
Metsulfuron-methyl	Herbicide	0.003	0.002	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.001	
Monolinuron	Herbicide	0.008	0.007	0.007	0.008	0.005	0.007	0.006	0.006	0.008
Monuron	Herbicide	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.004	0.003	0.004
Prometryn	Herbicide	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.005
Propazine	Herbicide	0.003		0.002	0.001	0.002	0.001	0.001		0.001
Propiconazole	Fongicide	0.010	0.008	0.009	0.009	0.009	0.010	0.011	0.009	0.010
Propyzamide	Herbicide	0.004						0.003		
Pymetrozine	Insecticide	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002
Pyrimethanil	Fongicide		0.002			0.003				
Simazin	Herbicide	0.013	0.011	0.011	0.012	0.011	0.011	0.011	0.011	0.012
Simazine-2-hydroxy	Herbicide	0.008	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.001	0.002
Tebuconazole	Fongicide	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001		
Tebutam	Herbicide	0.003	0.001	0.002	0.001	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001
Terbumeton	Herbicide	0.006	0.003	0.006	0.004	0.006	0.007	0.007	0.006	
Terbuthylazine	Herbicide	0.010	0.007	0.008	0.010	0.007	0.008	0.008	0.009	0.010
Terbuthylazine-2-hydroxy	Herbicide	0.007	0.007	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.007
Terbuthylazine-desethyl	Herbicide	0.007	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.006
Terbutryn	Herbicide	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003
Thiabendazole	Fongicide	0.003								
Somme		0.378	0.305	0.333	0.326	0.315	0.324	0.323	0.295	0.330

Produits phytosanitaires décelés dans le lac - prélèvement SHL2 du 4 septembre 2006.
Pesticides survey in the lake- SHL2 sampling of 4 september 2006.

ANNEXE 6

Concentration en pesticide (µg/L) Prélèvement SHL2 du 4.09.2006	Type	Profondeur (m)								
		0m	1m	5m	7.5m	10m	30m	100m	305m	309m
Amidosulfuron	Herbicide	0.042	0.034	0.034	0.029	0.032	0.045	0.047	0.043	0.043
Atrazine	Herbicide	0.016	0.016	0.015	0.015	0.016	0.022	0.023	0.021	0.021
Atrazine-2-hydroxy	Herbicide	0.003	0.006	0.004	0.003	0.003	0.003	0.007	0.011	0.008
Atrazine-desethyl	Herbicide	0.024	0.021	0.020	0.018	0.018	0.020	0.019	0.017	0.019
Atrazine-desethyl-2-hydroxy	Herbicide	0.001	0.002	0.001		0.001		0.001		
Atrazine-desethyl-desisopropyl	Herbicide	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002		
Atrazine-desisopropyl	Herbicide	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.011	0.011	0.014	0.010
Azoxystrobin	Fongicide	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001		0.001	0.001
Boscalid	Fongicide				0.001					
Carbendazim	Fongicide	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002		0.003	0.003
Chlorobromuron	Herbicide		0.001	0.002	0.001		0.003	0.001	0.002	0.001
Chlorotoluron	Herbicide	0.001	0.003			0.002		0.007	0.011	0.007
Cycloxydim	Herbicide								0.002	0.002
Cyproconazole	Fongicide	0.005	0.005	0.005	0.006	0.005	0.006	0.006	0.006	0.005
Cyprodinil	Fongicide	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003		0.002	0.002
Difenoconazol	Fongicide						0.002		0.001	0.002
Dimethachlor	Herbicide	0.001	0.004	0.003	0.002	0.002	0.001	0.003	0.004	0.003
Dimethenamid	Herbicide		0.002	0.001						
Dimethomorph	Fongicide	0.001			0.001	0.001			0.001	
Dinoseb	Herbicide	0.006	0.013	0.009	0.009	0.007	0.017	0.017	0.012	0.014
Dinoterb	Herbicide									0.001
Diuron	Herbicide	0.010	0.009	0.007	0.007	0.008	0.009	0.008	0.008	0.008
Ethoxysulfuron	Herbicide	0.014	0.012	0.013	0.012	0.013	0.013	0.013	0.012	0.013
Fenarimol	Fongicide	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.006	0.007	0.009	0.009
Fenuron	Herbicide								0.001	0.001
Flurprimidol	Rég. croiss.								0.001	
Foramsulfuron	Herbicide	0.036	0.029	0.028	0.027	0.026	0.042	0.042	0.040	0.044
Furalaxyl	Fongicide	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002		0.003	0.002
Iodosulfuron-methyl	Herbicide	0.010	0.009	0.008	0.008	0.008	0.008	0.007	0.006	0.008
Iprovalicarb	Fongicide	0.002		0.002						
Isazophos	Insecticide	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001		
Isoproturon	Herbicide						0.001	0.003	0.002	
Linuron	Herbicide	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001		0.001	0.002	0.001
Mandipropamid	Fongicide	0.002								
Mecoprop	Herbicide	0.002	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002
Metalaxyl	Fongicide	0.037	0.033	0.028	0.028	0.028	0.043	0.046	0.041	0.043
Methabenzthiazuron	Herbicide								0.001	
Metobromuron	Herbicide	0.001	0.004	0.003	0.002	0.003	0.003	0.007	0.010	0.006
Metolachlor	Herbicide	0.009	0.008	0.007	0.008	0.008	0.009	0.010	0.008	0.009
Metsulfuron-methyl	Herbicide		0.001	0.001				0.001	0.001	0.001
Monolinuron	Herbicide	0.002	0.004	0.003	0.001	0.002	0.003	0.007	0.009	0.006
Monuron	Herbicide		0.001					0.002		
Nuarimol	Fongicide						0.001		0.001	
Pacloubutrazol	Herbicide							0.003		
Penconazole	Fongicide	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001		0.001	0.001
Prometryn	Herbicide	0.001	0.003	0.002	0.001	0.002	0.002	0.005	0.006	0.004
Propazine	Herbicide								0.001	
Propiconazole	Fongicide	0.006	0.005	0.006	0.006	0.005	0.009	0.009	0.009	0.009
Pymetrozine	Insecticide	0.008	0.006	0.006	0.005	0.006	0.005	0.002	0.002	0.002
Pyriftalid	Herbicide					0.003				
Pyrimethanil	Fongicide								0.003	
Simazin	Herbicide	0.014	0.013	0.012	0.011	0.011	0.014	0.013	0.013	0.013
Simazine-2-hydroxy	Herbicide		0.001					0.001	0.020	0.001
Tebuconazole	Fongicide	0.001	0.001	0.001	0.001					0.002
Tebutam	Herbicide							0.001		0.007
Terbumeton	Herbicide		0.001	0.001		0.001	0.001	0.002	0.002	0.002
Terbuthylazine	Herbicide	0.003	0.006	0.004	0.003	0.004	0.003	0.007	0.008	0.007
Terbuthylazine-2-hydroxy	Herbicide	0.003	0.006	0.004	0.002	0.003	0.003	0.006	0.013	0.008
Terbuthylazine-desethyl	Herbicide	0.010	0.008	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Terbutryn	Herbicide		0.002	0.001		0.001	0.001	0.003	0.003	0.002
Thiacloprid	Insecticide								0.006	
Thiabendazole	Fongicide		0.001				0.001			
Somme		0.298	0.300	0.268	0.241	0.252	0.331	0.366	0.406	0.364

Médicaments décelés dans le lac - prélèvements SHL2 du 4 septembre et du 3 octobre 2006 et des eaux avant et après potabilisation du 3 octobre 2006.

ANNEXE 7

Pharmaceuticals survey in the lake - SHL2 sampling of 4 september 2006 and 3 october 2006 and water before and after treatments for the production of tap water of 3 october 2006.

Septembre-octobre 2006	SHL2				Prieuré		Vevey		St-Sulpice		INRA-Thonon brute	
	5 m	25 m	100 m	200 m	brute	traitée	brute	traitée	brute	traitée		
Antiépileptique :												
carbamazépine - TZW	µg/L	0.028	0.045	0.048	0.051	0.046	< 0.010	0.046	< 0.010	0.045	0.045	0.049
carbamazépine -	µg/L	0.020	0.030	0.038	0.034	0.036	< 0.002	0.034	< 0.002	0.037	0.038	0.039
carbamazépine - SPCo	µg/L	0.043	0.061	0.060	0.055							
Anesthésiants :												
mépipvacaine	µg/L	0.019	0.050	0.061	0.054							
bupivacaïne	µg/L	0.002	0.004	0.005	0.005							
prilocaïne	µg/L	0.003	0.006	0.007	0.006							
Analgésiques et anti-inflammatoires :												
diclofenac	µg/L	< 0.002	< 0.002	0.004	< 0.002	0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	0.004	0.003	< 0.002
acide méfénamique	µg/L	0.001	0.003	0.003	0.003	0.002	< 0.001	0.003	0.001	0.002	< 0.001	0.004
β-bloquants :												
metoprolol	µg/L	< 0.003	< 0.003	< 0.003	< 0.003	< 0.003	< 0.003	< 0.003	< 0.003	< 0.003	0.003	< 0.003
Produits de contraste :												
iopamidol	µg/L	< 0.010	0.012	0.012	0.013	0.013	< 0.010	0.012	< 0.010	0.012	0.014	0.012
iopromide	µg/L	< 0.010	0.013	0.011	0.011	0.012	< 0.010	0.013	< 0.010	0.013	0.012	< 0.010
iomeprol	µg/L	< 0.010	0.018	< 0.010	0.011	0.012	< 0.010	0.013	< 0.010	0.016	0.011	0.010
iohexol	µg/L	< 0.010	0.028	0.017	0.015	0.018	< 0.010	0.020	0.012	0.017	0.018	0.017
Antibiotiques :												
sulfaméthoxazole	µg/L	< 0.010	< 0.010	< 0.010	0.013	< 0.010	< 0.010	0.011	< 0.010	0.013	< 0.010	< 0.010

Autres micropolluants dans le lac - prélèvements à SHL2 et des eaux avant et après potabilisation. (2-3 octobre 2006).

ANNEXE 8

Other micropollutants survey in the lake- SHL2 sampling and water before and after treatments for the production of tap water (2-3 October 2006).

Octobre 2006	SHL2				Prieuré		Vevey		St-Sulpice		INRA-Thonon brute	
	5 m	25 m	100 m	200 m	brute	traitée	brute	traitée	brute	traitée		
	03.10.2006				02.10.2006		02.10.2006		02.10.2006		03.10.2005	
Muscs polycyclic (PCMs) :												
Celestolide (ADBI)	µg/L	< 0.0001	0.0003	0.0003	0.0004	0.0006	0.0003	0.0005	0.0002	0.0003	0.0003	0.0004
Galaxolide (HHCb)	µg/L	0.005	0.011	0.013	0.014	0.021	0.006	0.031	0.005	0.015	0.018	0.018
Tonalide (AHTN)	µg/L	0.002	0.003	0.004	0.003	0.003	0.001	0.005	0.001	0.002	0.002	0.003
Filtres UV :												
Octyle-méthoxycinnamate	µg/L	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.015	0.048	0.015	0.155	0.073	0.072	0.224	0.052
Octocrylène	µg/L	0.006	0.001	0.019	0.002	0.009	0.014	0.025	0.073	0.091	0.096	0.046
Triclosan												
	µg/L	0.027	0.022	< 0.009	< 0.009	< 0.009	< 0.009	< 0.009	< 0.009	< 0.009	< 0.009	< 0.009
Benzotriazole												
	µg/L	0.118	0.143	0.221	0.189	0.157	< 0.011	0.174	< 0.011	0.168	0.167	0.157
Tolytriazole												
	µg/L	0.027	0.041	0.062	0.052	0.040	< 0.002	0.051	< 0.002	0.044	0.039	0.041
Pesticides :												
Bromopropylate	µg/L	0.020	0.016	0.016	0.015	0.018	0.017	< 0.005	< 0.005	0.012	< 0.005	0.013
Pendiméthaline	µg/L	0.028	< 0.010	< 0.010	< 0.010	0.024	< 0.010	< 0.010	< 0.010	0.015	< 0.010	< 0.010
Tébutame	µg/L	0.008	< 0.004	< 0.004	< 0.004	< 0.004	< 0.004	< 0.004	< 0.004	< 0.004	< 0.004	< 0.004
Terbutryne	µg/L	0.015	0.013	< 0.005	0.012	< 0.005	< 0.005	0.012	< 0.005	0.012	< 0.005	0.012

CONSEIL SCIENTIFIQUE

DE LA COMMISSION INTERNATIONALE
POUR LA PROTECTION DES EAUX DU LÉMAN
CONTRE LA POLLUTION

RAPPORTS

SUR LES ÉTUDES
ET RECHERCHES ENTREPRISES
DANS LE BASSIN LÉMANIQUE

PROGRAMME QUINQUENNAL 2006-2010
CAMPAGNE 2006

*Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut.,
Campagne 2006, 2007*

Editeur :

Commission internationale pour la protection
des eaux du Léman contre la pollution

ACW - Changins - Bâtiment DC
50, route de Duillier
Case postale 1080
CH - 1260 NYON 1

Tél. : CH - 022 / 363 46 69
FR - 00 41 22 / 363 46 69

Fax : CH - 022 / 363 46 70
FR - 00 41 22 / 363 46 70

E-mail : cipel@cipel.org

Site web : <http://www.cipel.org>

La reproduction partielle de rapports et d'illustrations publiés dans les
"*Rapports de la Commission internationale pour la protection des eaux du Léman contre la pollution*"
est autorisée à la condition d'en mentionner la source.
La reproduction intégrale de rapports doit faire l'objet d'un accord avec l'éditeur.