#### 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 2001-2005 CAMPAGNE 2003

#### Editeur:

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

23, av. de Chailly Case postale 80 CH - 1000 LAUSANNE 12

Tél.: CH -021 / 653 14 14

F - 00 41 21 / 653 14 14

Fax: CH -021 / 653 14 41

F - 00 41 21 / 653 14 41

E-mail: cipel@cipel.org

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

La reproduction intégrale de rapports doit faire l'objet d'un accord avec l'éditeur.

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.

## SOMMAIRE

| FIC | HE S     | SIGNALÉTIQUE DU LÉMAN ET DE SON BASSIN VERSANT                                | 7        |
|-----|----------|---|----------|
| СО  | NC       | LUSIONS GÉNÉRALES - Campagne 2003   | 11       |
|     |          | RAPPORTS SUR LES ÉTUDES ET RECHERCHES<br>ENTREPRISES DANS LE BASSIN LÉMANIQUE |          |
| 1.  | ΜÉ       | TÉOROLOGIE  | 19       |
|     | 1.       | Introduction  |          |
|     | 2.       | Température de l'air  |          |
|     | 3.       | Pluviométrie  |          |
|     | 4.<br>5. | Insolation  |          |
|     | 6.       | Vent  |          |
|     | 7.       | Conclusions   | 29       |
| 2.  | ÉV       | OLUTION PHYSICO-CHIMIQUE ET RECHERCHE DE MÉTAUX ET                            |          |
|     |          | QUELQUES MICROPOLLUANTS DANS LES EAUX DU LÉMAN                                |          |
|     | 1.<br>2. | Méthodes  | 32       |
|     | 2.<br>3. | Evolution saisonnière dans les couches superficielles                         |          |
|     |          | 3.1 Brassage hivernal et reprise de l'activité photosynthétique au printemps  |          |
|     |          | 3.2 Reste de l'année  |          |
|     | 4.<br>5. | Evolution saisonnière dans les couches profondes                              |          |
|     | J.       | 5.1 Oxygène dissous   |          |
|     |          | 5.2 Phosphore dissous et phosphore total                                      | 47       |
|     |          | 5.3 Transparence  | 49       |
|     |          | 5.4 Azote nitrique et azote total   |          |
|     | 6.       | Métaux et micropolluants organiques   |          |
|     |          | 6.1 Métaux  | 51       |
|     |          | 6.2 Pesticides (phytosanitaires)  |          |
|     | 7.       | 6.3 NTA-EDTA  |          |
|     | <i>-</i> | Bibliographie   |          |
|     | -        | Annexes   | 56       |
| 3.  |          | NAMIQUE DE LA PRODUCTION PHYTOPLANCTONIQUE                                    |          |
|     | ET       | DE LA BIOMASSE CHLOROPHYLLIENNE DANS LE LÉMAN                                 |          |
|     | 1.       | Introduction  |          |
|     | 2.<br>3. | Méthodes  |          |
|     | ٥.       | 3.1 Répartitions verticales   |          |
|     |          | 3.2 Variations saisonnières   |          |
|     |          | 3.3 Production annuelle   |          |
|     | 4.<br>–  | Conclusions   |          |
|     | ć،,,     | OLUTION DU DUVTORI ANOTON DU L'ÉMAN   | 00       |
| 4.  |          | OLUTION DU PHYTOPLANCTON DU LÉMAN   |          |
|     | 1.<br>2. | Méthodes  |          |
|     | 3.       | Résultats   | 70       |
|     |          | 3.1 Variations saisonnières et évolution interannuelle de la biomasse         |          |
|     |          | <ul><li>3.2 Richesse taxonomique</li></ul>                                    | 72       |
|     |          | 3.3 Répartition par classes d'algues et par classes de taille                 |          |
|     |          | 3.5 Développement des espèces principales au cours de l'année                 | 75       |
|     | 4.       | Conclusions   | 76       |
|     | _        | Bibliographie   | 77<br>78 |

| 5. | ÉV         | OLUTION DU ZOOPLANCTON DU LÉMAN81   |
|----|------------|---|
|    | 1.         | Introduction  |
|    | 2.         | Méthodologie  |
|    | 3.         | Structure et dynamique de la biocénose zooplanctonique 82                   |
|    |            | 3.1 Microcrustacés  |
|    |            | 3.2 Aperçu sur quelques rotifères   |
|    |            | 3.3 Autres groupes planctoniques  |
|    | 4.         | Biovolume sédimenté   |
|    |            | 4.1 Variations saisonnières   |
|    |            | 4.2 Evolution à long terme  |
|    | _          | 4.3 Relation phosphore total - zooplancton                                  |
|    | 5.<br>6.   | Comparaison des années 2002 et 2003   |
|    | <b>O</b> . | Conclusions   |
|    | _          | Annexe  |
|    |            | Alliere   |
| 6. | RÉ         | GIME ALIMENTAIRE DES CORÉGONES DU LÉMAN EN MILIEU PÉLAGIQUE 93              |
|    | 1.         | Introduction  |
|    | 2.         | Méthodologie  |
|    | 3.         | Résultats   |
|    |            | 3.1 Taille des poissons examinés  |
|    |            | 3.2 Evolution mensuelle du taux de vacuité                                  |
|    |            | 3.3 Composition du régime alimentaire                                       |
|    | 4.         | Conclusions   |
|    | _          | Bibliographie 98  |
| 7. | рÉ         | PONSES DES COMMUNAUTÉS BENTHIQUES DU LÉMAN À L'AMÉLIORATION                 |
| ۲. |            | L'ÉTAT TROPHIQUE DU LÉMAN ENTRE 1983 ET 2003                                |
|    | 1.         | Introduction  |
|    | 1.<br>2.   | Stations et méthodes  |
|    | 2.<br>3.   | Résultats   |
|    | ٥.         | 3.1 Fréquence, répartition spatiale et bathymétrique des espèces            |
|    |            | 3.2 Densité et biomasse   |
|    |            | 3.3 Evaluation trophique basée sur les communautés benthiques               |
|    | 4.         | Discussion  |
|    | _          | Bibliographie   |
|    |            |   |
| 8. |            | LAN DES APPORTS PAR LES AFFLUENTS AU LÉMAN ET AU RHÔNE                      |
|    | AL         | L'AVAL DE GENÈVE  |
|    | 1.         | Généralités   |
|    | 2.         | Débits des affluents principaux et de l'émissaire                           |
|    | 3.         | Apports annuels et composition de l'eau des affluents                       |
|    |            | 3.1 Phosphore   |
|    |            | 3.2 Azote minéral et organique  |
|    |            | 3.3 Chlorure  |
|    |            | 3.4 Carbone organique   |
|    | 4.         | Etude des affluents complémentaires   |
|    |            | <ul><li>4.1 Phosphore dissous (orthophosphate) et phosphore total</li></ul> |
|    |            | 4.3 Chlorure  |
|    |            | - <del></del> .o - Officials  |
|    | 5          | Bassin versant du Rhône de Genève à Chancy 121                              |
|    | 5.<br>6    | Bassin versant du Rhône de Genève à Chancy                                  |
|    | 5.<br>6.   | Conclusions   |
|    | -          | Conclusions         123           6.1 Bassin versant du Léman         123   |
|    | -          | Conclusions         123           6.1 Bassin versant du Léman         123   |

## **RAPPORTS TECHNIQUES**

| 9.  | CO                                    | NTRÔLE DES STATIONS D'ÉPURATION (STEP)  | . 129  |
|-----|---------------------------------------|---|--|
|     | 1.<br>2.<br>3.<br>4.                  | Introduction  Nombre de STEP, capacité et populations raccordées  Contrôles  Bilan des flux et rendements d'épuration  4.1 Débits  4.2 Demande biochimique en oxygène (DBO <sub>5</sub> )  4.3 Phosphore total et phosphore dissous (P-PO <sub>4</sub> )                    | . 130<br>. 131<br>. 132<br>. 133<br>. 136                            |
|     | 5.<br>-<br>-                          | Conclusions   | . 140  |
| 10. |                                       | JEUX POUR LE LÉMAN DE LA RÉDUCTION A LA SOURCE DES APPORTS<br>PHOSPHORE LIÉS AUX DÉTERGENTS À USAGE DOMESTIQUE  | . 147  |
|     | 1.<br>2.                              | Introduction  | . 148<br>. 149   |
|     | 3.                                    | <ul> <li>2.2 Evolution du marché des produits lave-vaisselle en France et en Suisse</li> <li>Evaluation des rejets bruts de phosphore liés aux détergents</li> <li>3.1 Du côté français</li> <li>3.2 Du côté suisse</li> </ul>  | . 150<br>. 150   |
|     | 4.<br>5.<br>6.<br>–                   | Evaluation des rejets nets au lac dus aux détergents à usage domestique   | . 151<br>. 152<br>. 152  |
| 11. | ΑN                                    | ALYSES COMPARATIVES INTERLABORATOIRES   | . 155  |
|     | 1.<br>2.<br>3.<br>4.<br>5.<br>6.<br>– | Introduction Éléments majeurs dans des eaux de type lac et rivière 2.1 Résultats 2.2 Conclusions Echantillons synthétiques "basses valeurs" Phytosanitaires et micropolluants Echantillon synthétique type "STEP" Conclusions générales Tableaux Abréviations Bibliographie | . 156<br>. 157<br>. 157<br>. 157<br>. 157<br>. 157<br>. 158<br>. 161 |
| _   | LIS                                   | TE DES AUTEURS  | 163  |

### FICHE SIGNALÉTIQUE DU LÉMAN ET DE SON BASSIN VERSANT

#### LE LÉMAN

Position géographique moyenne : 46°27' lat. N

6°32' long. E de Greenwich

Altitude moyenne du plan d'eau (1930-2002) \* : 372.05 m mini : 371.01 (08.03.1949)

maxi: 372.91 (17.06.1937)

Superficie du plan d'eau \* \* : 580.1 km<sup>2</sup>

dont: . France: 234.8 km<sup>2</sup>

Suisse : 345.3 km<sup>2</sup>

- Vaud : 298.0 km<sup>2</sup> - Valais : 10.6 km<sup>2</sup> - Genève : 36.7 km<sup>2</sup>

Volume moyen: 89 milliards m³ soit 89 km³

Débit moyen du Rhône amont (à la Porte du Scex) (1935-2002) \* : 183 m<sup>3</sup>/s

dont: . maxi (1999): 227 m<sup>3</sup>/s

. mini (1976): 127 m<sup>3</sup>/s

Débit moyen du Rhône à l'exutoire (à Genève) (1935-2002) \* : 252 m<sup>3</sup>/s

dont: . maxi (1995): 327 m³/s

. mini (1976): 166 m<sup>3</sup>/s

Temps de séjour théorique des eaux (volume/débit moyen) : 11.4 ans

Longueur de son axe : 72.3 km

Profondeur maximale: 309.7 m

Profondeur moyenne: 152.7 m

Longueur des rives \* \* : 200.2 km

dont: . France: 58.0 km

Suisse: 142.2 km

- Vaud : 102.0 km - Valais : 7.6 km - Genève : 32.6 km

#### Caractéristiques morphométriques du Grand Lac et du Petit Lac

|                                      | Léman | Grand Lac   | Petit Lac  |
|--------------------------------------|-------|-------------|------------|
| Superficie du plan d'eau (km²/%)     | 580.1 | 498.90 / 86 | 81.20 / 14 |
| Superficie de la zone 0-12 m (km²/%) | 43.7  | 24.47 / 56  | 19.23 / 44 |
| Volume (km <sup>3</sup> /%)          | 89    | 86 / 96     | 3 / 4      |
| Profondeur maximale (m)              | 309.7 | 309.7       | 76         |
| Profondeur moyenne (m)               | 152.7 | 172         | 41         |
| Longueur dans l'axe (km)             | 72.3  | 49          | 23.3       |

Le Grand Lac forme un bassin unique, d'orientation approximative est-ouest, caractérisé par une plaine centrale étendue, limitée par la courbe isobathe 300 m. Orienté nord-est - sud-ouest, le Petit Lac est bien plus étroit et moins profond. Son plancher est découpé par une série de cuvettes peu marquées.

<sup>\*</sup> Annuaire hydrologique de la Suisse, 2002

<sup>\* \*</sup> Calculs informatiques effectués sur des cartes OFT (Office fédéral de topographie) au 1:25'000

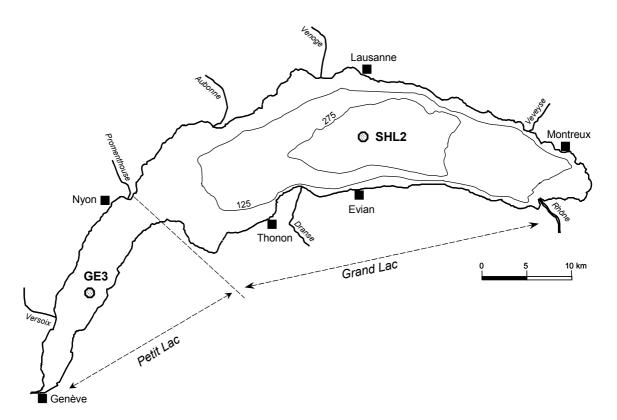


Figure 1 : Le Léman et situation des stations de prélèvements

SHL2: (coord. CH: 534.70 / 144.95) GE3: (ccord. CH: 506.10 / 128.04)

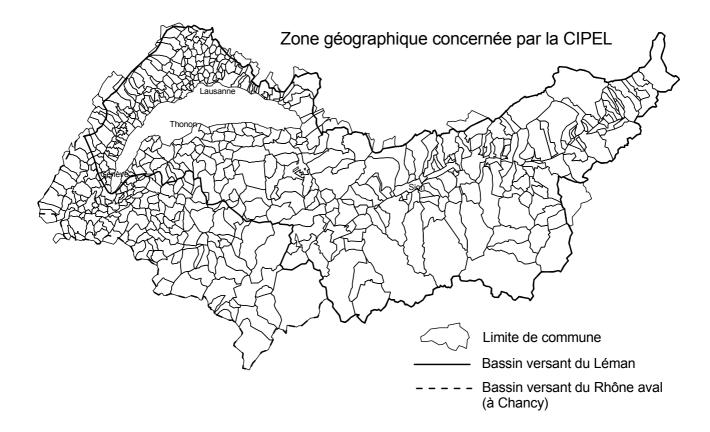


Figure 2 : Le bassin versant du Léman et du Rhône aval jusqu'à la frontière franco-suisse de Chancy

#### LE BASSIN VERSANT DU LÉMAN

Surface du bassin versant (lac compris) \*: 7'975 km<sup>2</sup> Surface du bassin versant (sans le lac) : 7'395 km<sup>2</sup>

dont: France: 890 km<sup>2</sup>

Suisse: 6'505 km<sup>2</sup>

1'670 m Altitude moyenne \*: Altitude maximale (Pointe Dufour): 4'634 m

Indice de glaciation (par rapport à la superficie totale) \* : 9.40 %

Population permanente (01.01.2003): 948'240

> 122'410 dont: France:

> > Suisse: 825'830

Population touristique

(capacité d'accueil - 01.01.2003) : 615'610

> 169'370 dont: France:

Suisse: 446'240

Répartition des modes d'utilisation des sols les plus importants (CIPEL, 1999) :

Terres incultes 34.5 % Forêts 22.0 % 23.0 % Pâturages Terres cultivables 20.5 %

Les terres cultivables se répartissent de la manière suivante :

63.1 % d'herbages

26.7 % de terres ouvertes

6.6 % de vignobles

2.6 % de vergers intensifs

1.0 % de cultures maraîchères.

#### LE BASSIN VERSANT DU RHÔNE À CHANCY

(jusqu'à la frontière franco-suisse; bassin versant dont s'occupe la CIPEL)

10'299 km<sup>2</sup> Surface du bassin versant (lac compris) \* :

Altitude movenne \*: 1'580 m Altitude maximale (Mont-Blanc): 4'810 m

Indice de glaciation (par rapport à la surface totale) \* : 8.40 %

Débit moyen du Rhône (à Chancy) (1935-2002) \*: 343 m<sup>3</sup>/s

434 m<sup>3</sup>/s dont: maxi (1995):

219 m<sup>3</sup>/s mini (1976):

Population permanente (01.01.2003): 1'620'800

> dont: France: 419'890

Suisse: 1'200'910

Population touristique

(capacité d'accueil - 01.01.2003) : 919'560

> dont: France: 454'850

> > Suisse: 464'710

CIPEL (1999): Apports diffus de phosphore d'origine agricole. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1998, 221-229.

Annuaire hydrologique de la Suisse, 2002

### **CONCLUSIONS GÉNÉRALES**

#### Campagne 2003

PAR

#### LE CONSEIL SCIENTIFIQUE DE LA COMMISSION INTERNATIONALE

CIPEL, CP 80, CH - 1000 LAUSANNE 12

#### LAC

#### **Evolution physico-chimique**

#### ☐ Un brassage hivernal partiel et des eaux qui se réchauffent

L'hiver 2002-2003 n'a pas été assez froid et les vents pas suffisamment forts pour homogénéiser toute la colonne d'eau. Il n'y a donc pas eu de brassage suffisant permettant de réoxygéner complètement les eaux profondes. On peut estimer que la circulation hivernale des eaux a atteint 160 mètres en février 2003.

La concentration en oxygène des eaux du fond atteint  $6.26 \text{ mgO}_2/L$  au début du mois de mars (maximum) et  $2.16 \text{ mgO}_2/L$  au mois de décembre (minimum). Elle est inférieure à  $4 \text{ mgO}_2/L$  dans les eaux du fond dès septembre (figure 1).

La température des eaux du fond confirme une tendance à l'augmentation. En 2003, on observe une valeur moyenne de 5.90°C contre 4.47°C en 1963.

#### ☐ Une saison estivale chaude

L'année climatique 2003 sur les rives du Léman peut être considérée comme chaude. Elle se caractérise par une longue période de sécheresse (790 mm de pluie en moyenne sur le pourtour du Léman pour l'ensemble de l'année) et de canicule ainsi qu'un fort ensoleillement.

#### □ Une stabilité des teneurs en nutriments

En 2003, le stock moyen en phosphore total a diminué de 4 % par rapport à 2002, avec une concentration moyenne de 32.8  $\mu$ gP/L en phosphore total, soit 2'805 tonnes de P (figure 2). La concentration moyenne était de 34  $\mu$ gP/L en 2002, sans tendance significative par rapport à 2001. L'évolution de la concentration en phosphore dans le lac poursuit sa décroissance à caractère asymptotique, il est donc important de poursuivre et d'intensifier les efforts au niveau de la lutte à la source et de l'assainissement pour diminuer les apports.

Le phosphore dissous est consommé en quasi-totalité dans les couches superficielles à partir de mi-avril jusqu'en décembre (figure 3).

L'azote nitrique et l'azote total restent constants, relativement aux années précédentes.

La concentration en chlorure continue d'augmenter pour atteindre 8.43 mgCl/L, soit 7.4 % de plus qu'en 2002.

#### **Evolution biologique**

L'évolution biologique dépend beaucoup de l'évolution physico-chimique du lac. La diminution des concentrations en phosphore et le réchauffement des eaux induisent en effet des modifications sensibles des conditions trophiques et fournissent des éléments de compréhension des faits biologiques observés ces dernières années.

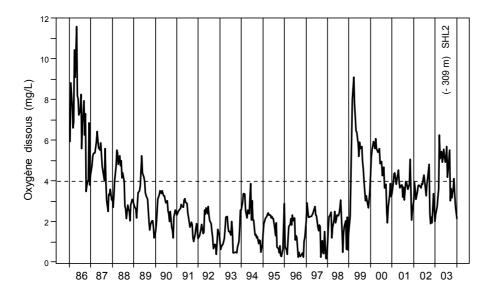
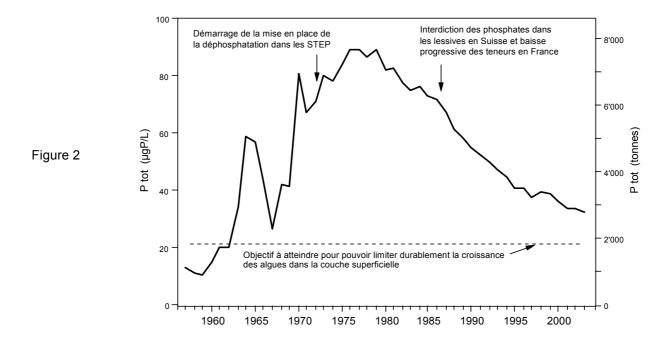


Figure 1



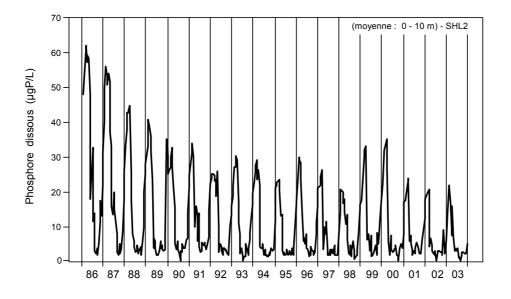


Figure 3

Les faits marquants de l'évolution physico-chimique du lac pour la biologie sont :

- une baisse des concentrations en phosphore dans les eaux superficielles: en 2003, la couche d'eau superficielle de 40 m présente en permanence une concentration en phosphore inférieure à 20 μg/l, seuil que s'est fixé la CIPEL pour toute la couche d'eau du lac. La production phytoplanctonique en surface, dès le printemps et jusqu'en automne, est ainsi limitée par le phosphore,
- 2) le réchauffement des eaux est net ces dernières années et l'année 2003 a été une année particulièrement chaude. La mise en place de la stratification thermique du lac est avancée de l'ordre d'un mois en 20 ans.

#### ☐ Schéma fonctionnel des dernières années (1995-2003)

La dynamique saisonnière du phytoplancton suit le décalage thermique. La production primaire débute dès fin mars. Le zooplancton herbivore (Daphnies) présente un maximum printanier avancé également d'un mois. Ce plancton consomme massivement le phytoplancton, provoquant une forte diminution de la biomasse algale se traduisant par des eaux transparentes. La phase des eaux claires est ainsi avancée de juin à mai. Cette avancée dans la dynamique de la production et la stratification thermique du lac, et la dynamique du phosphore, modifient la structure des assemblages d'espèces. Le phosphore disponible dans la couche d'eau superficielle est plus rapidement consommé par la production primaire. Il devient très tôt facteur limitant de la production primaire alors qu'il reste en concentration élevée dans la couche d'eau profonde, froide et moins éclairée du lac. Ces conditions sont favorables au cortège d'algues " automnales " qui se développe ainsi dès l'été dans ces couches profondes. Ces algues ne participent pas ou peu au transfert d'énergie vers les échelons supérieurs du réseau trophique car filamenteuses pour la plupart et difficiles à consommer par le zooplancton. Les transferts trophiques sont ainsi fortement modifiés dans le lac.

Les espèces de poissons ne réagissent pas de façon identique au changement. Le gardon, cyprinidé d'eau chaude, voit sa reproduction anticipée d'un mois environ, alors que la perche n'a pas ou peu changé sa période de reproduction (frai). Les relations interspécifiques de partage de la ressource nutritive zooplanctonique et de prédation sont modifiées. Le corégone et l'omble chevalier, espèces d'eau froide, réagissent différemment au réchauffement des eaux. Leur reproduction a lieu en hiver quand la photopériode et la température des eaux diminuent. La reproduction du corégone est ainsi retardée en décembre de deux semaines environ. La durée du développement embryonnaire est raccourcie par les eaux un peu plus chaudes en hiver. L'éclosion des larves est seulement avancée de quelques jours alors que la dynamique du plancton est, elle, avancée d'un mois. Les larves se trouvent dans des eaux plus chaudes qu'il y a 30 ans avec une ressource nutritive dont la dynamique est anticipée. Il est probable que leur survie soit meilleure et qu'elle explique la très bonne dynamique de la population de corégones dont les captures sont passées de moins de 50 tonnes dans les années 70 à plus de 300 tonnes depuis 1997.

#### ☐ Evolution en 2003

#### Le phytoplancton

La biomasse annuelle moyenne a encore régressé en 2003 (1'727 mg/m³ contre 2'747 mg/m³ l'année précédente) ce qui est en accord avec la baisse de la concentration en phosphore. C'est la valeur la plus faible obtenue depuis 1995, année antérieure à la période de légère remontée de la concentration en phosphore dans le lac. La biomasse estivale moyenne (2'007 mg/m³ contre 3'530 mg/m³ en 2002) est également en forte diminution en raison de la carence de plus en plus marquée en phosphore dans les eaux de surface en été. Il en est de même en automne. La biomasse printanière moyenne est stable (1'075 mg/m³) comme l'est la disponibilité du phosphore en début de saison.

La biomasse est cependant parfois très productive sans doute en relation avec la part du nanoplancton qui est en constante augmentation depuis 2000.

#### Le zooplancton et l'alimentation des corégones

La part croissante du nanophytoplancton est à mettre en relation avec la diminution d'abondance des Daphniidés depuis plusieurs années. La diminution de ces crustacés herbivores est elle-même liée à la présence de l'importante population de corégones zooplanctonophages dont la pêche se maintient à plus de 300 tonnes annuellement.

Le fonctionnement du réseau trophique était surtout dépendant de la concentration en phosphore des eaux du lac quand elle était supérieure à 40 µgP/l dans le début des années 90. Avec la forte croissance de la population de corégones à partir de 1995, le fonctionnement du réseau trophique subit l'influence de la prédation de cette espèce. La diminution des Daphnies en est sans doute un signe. Ces organismes sont des filtreurs de petites particules (algues, bactéries, protistes,...). Leur pression de prédation diminue sur le nanophytoplancton dont la biomasse augmente. Ces interactions interviennent simultanément, parfois en antagonisme, ce qui explique l'évolution actuellement un peu chaotique du fonctionnement biologique du lac.

#### ☐ Evolution de la faune benthique profonde entre 1983 et 2003

La structure des communautés benthiques s'est significativement modifiée par rapport à celle de 1983. L'accroissement de l'abondance des espèces du zoobenthos à tendance oligo- à mésotrophe indique clairement que l'état biologique des sédiments s'est amélioré ces 20 dernières années. La plus grande fréquence et l'augmentation de la profondeur de colonisation de plusieurs espèces d'oligochètes et chironomides traduisent le net rétablissement de conditions de vie meilleures au niveau du sédiment. Toutefois, la restauration ne parvient pas encore dans les très grandes profondeurs du fait en particulier de la forte sédimentation organique dans cette partie du lac et de la circulation incomplète des eaux. Les espèces d'oligochètes présentes entre 270 et 309 m restent encore caractéristiques de conditions méso-eutrophes.

#### ☐ La qualité sanitaire des eaux littorales pour la baignade

En 2003, les contrôles de la qualité hygiénique des eaux littorales et des plages, réalisés par les autorités compétentes, montrent que pour 71 % des 91 points de contrôle cette qualité est bonne, qu'elle est moyenne dans 26 % des cas et que dans 2 % des stations, l'eau peut être momentanément polluée. Il n'y a plus de station actuellement qualifiée de mauvaise qualité (une carte de l'état sanitaire des eaux de baignade a été publiée dans La Lettre du Léman No 28 - juin 2004).

Malgré une fluctuation interannuelle sur les proportions relatives des classes de bonne et moyenne qualité, l'évolution au cours de ces dernières années montre une nette amélioration de la situation. En effet, en 1992, les plages de bonne qualité ne représentaient que 52 % et la proportion des plages dont la qualité des eaux était momentanément polluée était de 12 %.

#### Micropolluants au centre du lac

Les teneurs en métaux des eaux du Léman demeurent faibles et satisfont pleinement aux exigences requises pour les eaux de boisson et la vie piscicole. Des traces d'herbicides triaziniques et de métolachlore sont toujours décelées dans les eaux du lac. Bien que les concentrations demeurent faibles, et probablement sans effet toxique sur l'écosystème, il faut relever que leur présence n'est pas souhaitable et que toute mesure visant à en limiter l'apport est à encourager.

## BASSINS VERSANTS DU LÉMAN ET DU RHÔNE AVAL

#### ☐ Bilan des apports au lac par les rivières

L'année 2003 est une année de faible pluviométrie au voisinage du Léman. A part le Rhône amont, les débits moyens annuels sont légèrement inférieurs à la moyenne de la période 1981-2000.

En 2003, les apports en phosphore total au lac par les quatre rivières principales ont été de 1'464 tonnes. Le Rhône amont représente 97.5 % de ces apports. Les onze rivières complémentaires apportent 23 tonnes de phosphore total au Léman.

Les apports en phosphore dissous des quatre rivières principales (46.7 tonnes) sont du même niveau que ceux de 1997-1998 (années où l'on a les plus faibles valeurs depuis le début des observations). Les concentrations moyennes annuelles dans les rivières complémentaires telles que la Chamberonne (57.2 µgP/L), le Nant de Braille (46.6 µgP/L) et la Morges (39 µgP/L) restent relativement élevées.

Les concentrations en azote minéral total varient de 0.71 mgN/L dans la Dranse à 6.7 mgN/L dans l'Eau Froide. La Venoge, ainsi qu'une rivière complémentaire, la Morges dépassent la concentration moyenne annuelle de 3 mgN/L.

Les apports en chlorure sont de 54'240 tonnes pour les quatre rivières principales et dix affluents complémentaires apportent 2'670 tonnes. Globalement il y a une augmentation de 845 tonnes (+ 1.5 %) des apports. La concentration moyenne annuelle pondérée par les débits pour l'ensemble des rivières est de 7.95 mg Cl/L.

#### ☐ Bilan des apports au Rhône aval (jusqu'à Chancy)

Les analyses effectuées sur les différentes rivières en aval du lac permettent de faire la part apportée par le bassin versant du Rhône entre sa sortie du Léman et Chancy pour les éléments chimiques tels que les nitrates, le phosphore total et le phosphore dissous. Entre le Rhône émissaire et Chancy, pour des débits multipliés par 1.4, on constate que les nitrates sont multipliés par un facteur de 3.5, le phosphore total augmente d'un facteur 5.3 et le phosphore dissous d'un facteur 5.

#### □ L'épuration des eaux usées

En 2003, 221 STEP étaient en service dans le bassin versant CIPEL (bassins hydrographiques du Léman et du Rhône aval depuis l'émissaire du lac jusqu'à la frontière franco-suisse de Chancy) totalisant une capacité nominale de 4'210'000 équivalents-habitants. Entre 1999 et 2003 dix nouvelles STEP ont été mises en service et près de 20 STEP, dont la STEP d'Aïre (Genève), ont été modernisées et agrandies.

Sur l'ensemble du bassin CIPEL, les STEP contrôlées représentent plus de 93 % de la capacité de traitement du bassin. Toutefois les débits déversés et le phosphore dissous ne sont pas suffisamment mesurés et rendent ainsi moins précis les différents bilans.

En 2003, les débits mesurés en entrée de STEP (en entrée et au point de déversement) ont diminué en raison de la faible pluviométrie. La baisse des déversements en entrée de STEP, pour les installations qui les mesurent, est très nette. Les débits spécifiques en entrée de STEP sont toujours relativement élevés par rapport à la consommation en eau par habitant et conduisent souvent à des déversements d'eaux usées en entrée de station, en cours de traitement et dans les réseaux en cas de précipitations.

Pour le bassin du Léman, les rendements globaux d'épuration de la matière organique (92 % - exprimée par la demande biochimique en oxygène –  $DBO_5$ ) et du phosphore total (86 %) ont augmenté, notamment grâce à la diminution des déversements. Pour le bassin du Rhône aval, le rendement d'épuration de la  $DBO_5$  pour les eaux traitées a légèrement augmenté (95 %); l'augmentation est plus nette pour le rendement global (88 %) en raison de la diminution des charges déversées.

## ACTIONS À LA SOURCE

#### □ Les détergents

Si avant épuration, une partie du phosphore rejeté, lié au métabolisme humain, n'est pas compressible, une part non négligeable liée aux détergents ménagers dépend directement de l'utilisation qui en est faite et de leur composition.

Quelques lessives textiles en France contiennent encore des phosphates, la plupart en étant aujourd'hui dépourvues. En Suisse, elles le sont toutes. Par contre, dans les deux pays, les produits pour lave-vaisselle sont pratiquement tous formulés avec des phosphates.

Une évaluation des rejets bruts de phosphore liés à ces détergents pour le bassin versant du Léman, confirme la nette prépondérance des apports par les produits pour lave-vaisselle (89 t au total, dont 17 t en France et 72 t en Suisse) par rapport aux produits pour textiles (19 t en France). Traduits en rejets nets en tenant compte des dispositifs d'assainissement, ce sont 33 t qui arrivent au lac, soit 11 % des apports totaux liés à l'activité humaine.

L'amélioration de la collecte et de l'épuration des eaux usées, mesures les plus efficaces mais aussi les plus lourdes et les plus coûteuses, ne traduiront pleinement leurs effets qu'à long terme. Par ailleurs, la poursuite prévisible de l'équipement des ménages en appareils lave-vaisselle, laisse craindre, à composition de produits inchangée, une augmentation des rejets en phosphore, qui par le jeu des pertes et déversements divers sur les réseaux, se retrouvera pour partie au lac sans traitement.

La réduction à la source des émissions apparaît donc comme le complément indispensable aux actions de dépollution et doit donc faire l'objet des mêmes efforts de sensibilisation et d'incitation.

La mise à disposition depuis le 15 juin 2004 par la CIPEL sur son site Internet, d'une information sur les teneurs en phosphates des différents produits distribués sur les bassins français et suisse du Léman, constitue une première étape de sensibilisation du consommateur. Soutenue au niveau des autorités nationales et pourquoi pas étendue à d'autres bassins, elle devrait accélérer la prise de conscience des consommateurs sur cette problématique.

# Rapports sur les études et recherches entreprises dans le bassin lémanique

Campagne 2003

## **MÉTÉOROLOGIE**

#### **WEATHER**

#### Campagne 2003

PAR

#### Philippe QUÉTIN

STATION D'HYDROBIOLOGIE LACUSTRE (INRA-UMR/CARRTEL), BP 511, FR - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex

#### RÉSUMÉ

Genève-Cointrin, Changins, Pully, Montreux-Clarens et Thonon-INRA sont les cinq stations météorologiques dont les résultats sont pris en compte dans ce rapport. Les paramètres climatiques examinés sont la température de l'air, la pluviométrie, l'insolation, le rayonnement global et le vent.

La température moyenne annuelle inter-stations en 2003 est de 11.7°C, à la station de Thonon elle atteint 12.0°C, 2° rang depuis 1951. Depuis le début des mesures à Thonon en 1951, le seuil des 11.0°C a été dépassé à 16 reprises, dont 11 fois depuis 1990.

L'année 2003 a une moyenne inter-stations des précipitations de 789 mm, à Thonon le total annuel se situe au 4° rang des années les moins pluvieuses de la chronologie 1951-2003.

Concernant l'insolation, l'année 2003 avec une moyenne inter-stations de 2'366 h est l'année la plus ensoleillée depuis 1985. A Thonon l'année 2003 est au 1° rang de la période 1954-2003.

Les remarques faites sur l'insolation sont également valables pour le rayonnement global. La moyenne inter-stations pour l'année 2003 est de 13.4 MJ/m².d.

L'année 2003 apparaît comme une année peu ventée.

#### **ABSTRACT**

Weather reports from five stations: Genève-Cointrin, Changins, Pully, Montreux-Clarens and Thonon-INRA are taken into account in this report. The meteorological parameters considered are the air temperature, rainfall, insolation, global irradiation and wind.

The mean annual interstation temperature in 2003 was 11.7°C, at the Thonon station it was 12.0°C, the second highest since 1951. Since measurements began at Thonon in 1951, the annual mean has been above 11.0°C in 16 years, 11 of them since 1990.

The mean interstation rainfall in 2003 was 789 mm, at Thonon the annual total ranked 4th for the 1951-2003 period.

With regard to insolation, the year 2003, with an interstation mean of 2'367 h, was the sunniest year since 1985. At Thonon it was the highest during the 1954-2003 period.

The comments about the insolation also apply to the global irradiation. The interstation mean for 2003 was 13.4 MJ/m<sup>2</sup>.d.

2003 was not a windy year.

#### 1. INTRODUCTION

Aucun changement n'a été effectué sur le réseau de mesure qui est toujours constitué des stations climatiques de l'Institut suisse de Météorologie de Genève-Cointrin, Changins, Pully, Montreux-Clarens et du laboratoire de l'INRA de Thonon-les Bains. Les paramètres climatiques examinés sont identiques aux années précédentes : la température de l'air, la pluviométrie, l'insolation, le rayonnement global et le vent. Cependant depuis mars 2003, MétéoSuisse a changé la présentation de ses tableaux mensuels. Le rayonnement global est donné maintenant en W/m² (transformation d'une unité d'énergie en une unité de puissance !). Pour le vent, c'est le vent moyen journalier en km/h (la mesure du vent à 13h reflète généralement la moyenne journalière) qui est indiqué et l'information sur la direction a été supprimée. Pour pouvoir comparer avec les autres rapports on gardera les mêmes unités que les autres années pour le rayonnement global et le vent.

#### 2. TEMPÉRATURE DE L'AIR

En 2003, la température moyenne annuelle inter-stations est de 11.7°C soit 0.2°C de plus qu'en 2002. Changins avec une moyenne annuelle de 11.3°C apparaît comme la station la plus froide, Thonon avec 12.0°C la plus chaude.

A Thonon en juin et en août, la température moyenne mensuelle fut supérieure au maximum enregistré depuis 1951. Si on excepte les mois de février et octobre, tous les autres mois ont eu leur moyenne supérieure à leur moyenne sur la période 1951-2003.

Tableau 1.1: Température moyenne mensuelle de l'air à chaque station en 2003 (°C)

Table 1.1: Mean monthly air temperature for each station in 2003 (°C)

|                  | Genève | Changins | Pully | Montreux | Thonon | Thonon<br>1951-2003 |
|------------------|--------|----------|-------|----------|--------|---------------------|
| Janvier          | 1.6    | 1.1      | 1.7   | 2.2      | 2.4    | 2.3                 |
| Février          | 0.4    | - 0.1    | 0.6   | 1.1      | 1.2    | 3.5                 |
| Mars             | 8.2    | 8.1      | 8.5   | 8.2      | 8.0    | 6.1                 |
| Avril            | 10.9   | 10.4     | 10.7  | 10.7     | 10.5   | 9.4                 |
| Mai              | 15.9   | 15.2     | 15.4  | 15.2     | 15.5   | 13.9                |
| Juin             | 24.1   | 23.1     | 23.2  | 22.7     | 23.4   | 17.1                |
| Juillet          | 22.5   | 21.8     | 22.0  | 21.6     | 22.1   | 19.9                |
| Août             | 24.0   | 23.8     | 24.0  | 23.3     | 24.2   | 19.4                |
| Septembre        | 15.9   | 15.6     | 15.9  | 15.9     | 16.3   | 16.3                |
| Octobre          | 8.8    | 8.2      | 8.9   | 9.0      | 9.3    | 11.6                |
| Novembre         | 6.0    | 5.4      | 6.7   | 6.9      | 6.5    | 6.2                 |
| Décembre         | 3.0    | 2.8      | 3.6   | 3.7      | 4.0    | 3.3                 |
| Moyenne annuelle | 11.8   | 11.3     | 11.8  | 11.7     | 12.0   | 10.6                |

Avec une température annuelle de 12.0°C à Thonon, l'année 2003 se classe dans les années chaudes, au deuxième rang de la période 1951 - 2003 (juste derrière 1991, avec 12.1°C). C'est la 11° fois depuis 1990 que le seuil des 11.0°C est dépassé. Globalement depuis 1978, la température moyenne inter-stations a augmenté de 2.35°C.

Tableau 1.2 : Température moyenne annuelle de l'air à Thonon (°C)

Table 1.2: Mean annual air temperature at Thonon (°C)

| Années | Température<br>moyenne annuelle | Années | Température<br>moyenne annuelle |
|--------|---------------------------------|--------|---------------------------------|
| 1980   | 9.8                             | 1992   | 11.2                            |
| 1981   | 10.4                            | 1993   | 10.8                            |
| 1982   | 11.1                            | 1994   | 12.1                            |
| 1983   | 10.9                            | 1995   | 11.2                            |
| 1984   | 10.4                            | 1996   | 10.4                            |
| 1985   | 9.7                             | 1997   | 11.3                            |
| 1986   | 10.4                            | 1998   | 11.3                            |
| 1987   | 10.3                            | 1999   | 11.2                            |
| 1988   | 11.2                            | 2000   | 11.8                            |
| 1989   | 11.2                            | 2001   | 11.4                            |
| 1990   | 11.4                            | 2002   | 11.8                            |
| 1991   | 10.7                            | 2003   | 12.0                            |

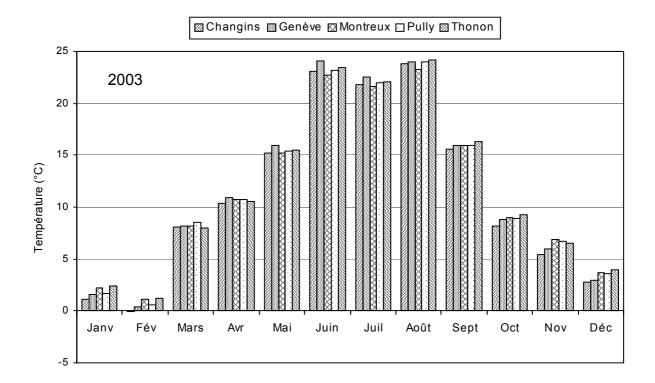


Figure 1.1 : Moyenne mensuelle de la température de l'air de chaque station en 2003

Figure 1.1: Mean monthly air temperature at each station in 2003

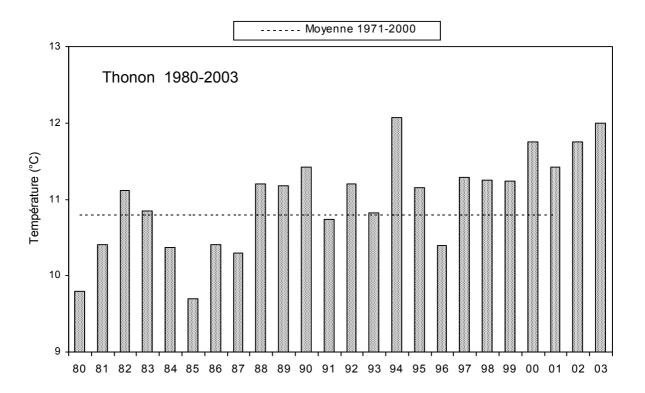


Figure 1.2 : Température moyenne annuelle de l'air à Thonon

Figure 1.2: Mean annual air temperature at Thonon

#### 3. PLUVIOMÉTRIE

L'année 2003 est une année très peu pluvieuse avec une moyenne inter-stations de 789 mm de précipitations. Une nouvelle fois, Thonon avec 691.5 mm est la station la moins arrosée, Montreux avec 904.1 mm celle où les précipitations sont les plus importantes.

Après un mois de janvier conforme à la normale, les mois de février et de mars furent très secs (22 au lieu de 119 mm). Après un mois d'avril qui fut lui aussi conforme, les cinq mois suivants apportèrent la sécheresse, qui fut à peine contrariée par l'excédent du mois d'octobre car les deux derniers furent secs eux aussi.

Tableau 2.1 : Pluviométrie mensuelle à chaque station en 2003 (mm)

Table 2.1: Monthly rainfall at each station in 2003 (mm)

|              | Genève | Changins | Pully | Montreux | Thonon | Thonon<br>1951-2003 |
|--------------|--------|----------|-------|----------|--------|---------------------|
| Janvier      | 79.7   | 80.1     | 72.8  | 75.6     | 60.5   | 61.7                |
| Février      | 22.4   | 28.6     | 22.8  | 31.4     | 6.5    | 57.6                |
| Mars         | 17.2   | 16.3     | 26.5  | 32.5     | 15.5   | 61.7                |
| Avril        | 59.0   | 69.2     | 81.5  | 78.6     | 67.5   | 69.6                |
| Mai          | 30.5   | 53.1     | 64.7  | 87.0     | 46.5   | 89.5                |
| Juin         | 45.4   | 26.2     | 65.3  | 67.9     | 48.5   | 102.3               |
| Juillet      | 41.3   | 40.2     | 72.8  | 94.6     | 39.0   | 74.1                |
| Août         | 110.3  | 96.8     | 114.3 | 107.3    | 91.5   | 97.7                |
| Septembre    | 74.2   | 74.8     | 76.4  | 78.1     | 73.0   | 95.3                |
| Octobre      | 174.7  | 176.7    | 149.2 | 130.6    | 149.5  | 83.4                |
| Novembre     | 53.8   | 50.0     | 79.4  | 85.5     | 63.5   | 83.9                |
| Décembre     | 28.4   | 38.4     | 37.8  | 35.0     | 30.0   | 70.3                |
| Total annuel | 736.9  | 750.4    | 863.5 | 904.1    | 691.5  | 947.1               |

A Thonon, l'année 2003 se classe au  $4^{\rm e}$  rang de la chronologie 1951-2003. Cela faisait 14 ans que le total de l'année n'avait pas été inférieur à 700 mm.

Tableau 2.2: Pluviométrie annuelle à Thonon (mm)

Table 2.2: Annual rainfall at Thonon (mm)

| Années | Pluviométrie<br>total annuel | Années | Pluviométrie<br>total annuel |
|--------|------------------------------|--------|------------------------------|
| 1980   | 1'046.6                      | 1992   | 993.0                        |
| 1981   | 973.3                        | 1993   | 1'011.7                      |
| 1982   | 985.8                        | 1994   | 1'105.9                      |
| 1983   | 950.4                        | 1995   | 1'114.5                      |
| 1984   | 883.1                        | 1996   | 954.0                        |
| 1985   | 890.6                        | 1997   | 1'012.0                      |
| 1986   | 886.0                        | 1998   | 855.5                        |
| 1987   | 1'020.5                      | 1999   | 1'134.6                      |
| 1988   | 1'093.0                      | 2000   | 885.6                        |
| 1989   | 676.3                        | 2001   | 1'168.5                      |
| 1990   | 1'141.6                      | 2002   | 1'066.0                      |
| 1991   | 794.9                        | 2003   | 691.5                        |

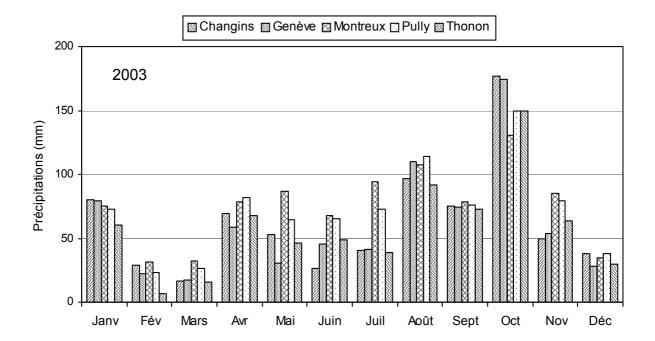


Figure 2.1 : Pluviométrie mensuelle de chaque station en 2003 (mm)

Figure 2.1: Monthly rainfall at each station in 2003 (mm)

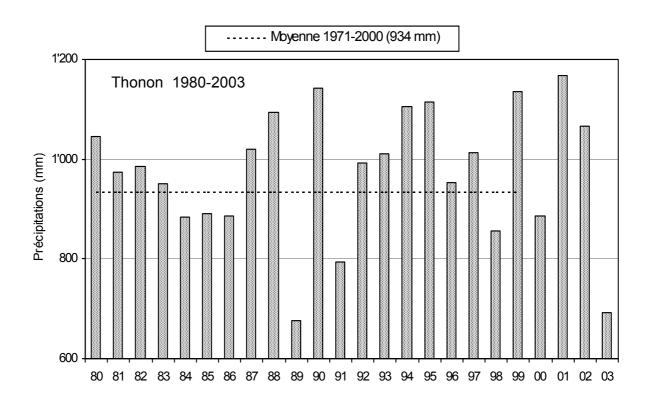


Figure 2.2 : Pluviométrie annuelle à Thonon (mm)

Figure 2.2 : Annual rainfall at Thonon (mm)

#### 4. INSOLATION

Seules quatre des cinq stations analysées sont équipées pour la mesure de l'insolation (Genève, Changins, Pully et Thonon).

L'année 2003, avec une moyenne inter-stations de 2'366 h, est une année très ensoleillée, la première au classement depuis 1985.

Tableau 3.1: Insolation mensuelle à chaque station en 2003 (h)

Table 3.1: Monthly insolation at each station in 2003 (h)

|              | Genève  | Changins | Pully   | Thonon  | Thonon<br>1954-2003 |
|--------------|---------|----------|---------|---------|---------------------|
| Janvier      | 52.3    | 71.5     | 68.2    | 47.0    | 43.6                |
| Février      | 89.2    | 94.2     | 102.8   | 97.5    | 82.1                |
| Mars         | 244.4   | 248.7    | 248.2   | 247.2   | 150.7               |
| Avril        | 222.4   | 232.3    | 235.6   | 251.9   | 190.7               |
| Mai          | 214.0   | 207.9    | 203.1   | 266.4   | 223.1               |
| Juin         | 324.2   | 324.7    | 316.5   | 363.4   | 240.3               |
| Juillet      | 296.5   | 283.5    | 288.0   | 334.1   | 268.3               |
| Août         | 294.6   | 290.9    | 295.9   | 307.5   | 234.7               |
| Septembre    | 233.9   | 229.4    | 225.0   | 234.2   | 178.1               |
| Octobre      | 94.1    | 99.4     | 99.6    | 105.3   | 110.6               |
| Novembre     | 84.1    | 84.0     | 76.3    | 79.9    | 54.9                |
| Décembre     | 89.0    | 94.1     | 96.1    | 77.4    | 39.5                |
| Total annuel | 2'238.7 | 2'260.6  | 2'255.3 | 2'411.8 | 1'816.9             |

A Thonon après deux mois normaux, suivent sept mois où l'insolation fut excédentaire par rapport à la normale. Le mois d'octobre fut normal, puis de nouveau on a deux mois excédentaires. L'année 2003 se classe première sur le classement 1954-2003, avec 200 heures de plus que l'année 1971 (deuxième du classement).

Tableau 3.2: Insolation annuelle à Thonon (h)

Table 3.2: Annual insolation at Thonon (h)

| Années | Insolation<br>total annuel | Années | Insolation<br>total annuel |
|--------|----------------------------|--------|----------------------------|
| 1980   | 1'879.5                    | 1992   | 1'667.6                    |
| 1981   | 1'862.9                    | 1993   | 1'634.5                    |
| 1982   | 2'026.2                    | 1994   | 1'689.0                    |
| 1983   | 1'931.2                    | 1995   | 1'871.4                    |
| 1984   | 1'743.5                    | 1996   | 1'674.7                    |
| 1985   | 1'580.2                    | 1997   | 1'811.5                    |
| 1986   | 1'477.8                    | 1998   | 1'834.3                    |
| 1987   | 1'376.7                    | 1999   | 1'702.0                    |
| 1988   | 1'540.8                    | 2000   | 1'956.7                    |
| 1989   | 1'694.5                    | 2001   | 1'837.5                    |
| 1990   | 1'821.1                    | 2002   | 1'831.1                    |
| 1991   | 1'788.1                    | 2003   | 2'411.8                    |

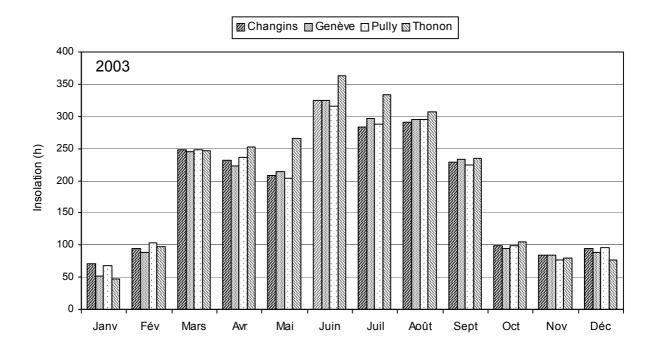


Figure 3.1 : Moyenne mensuelle de l'insolation de chaque station en 2003

Figure 3.1 : Mean monthly insolation at each station in 2003

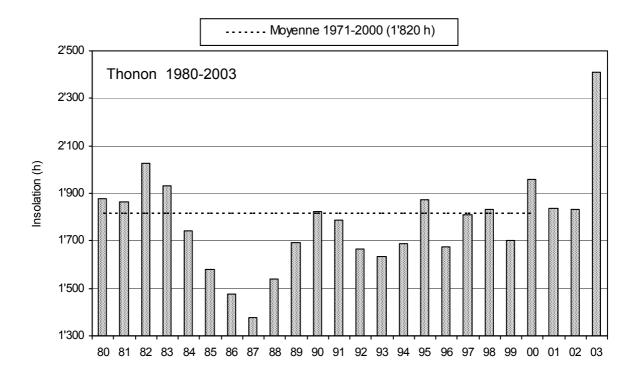


Figure 3.2 : Insolation annuelle à Thonon
Figure 3.2 : Annual insolation at Thonon

#### 5. RAYONNEMENT

Comme pour l'insolation, seules les stations de Genève, Changins, Pully et Thonon sont équipées pour la mesure du rayonnement global.

La moyenne inter-stations pour l'année 2003 est de 13.4 MJ/m<sup>2</sup>.d.

Tableau 4.1 : Rayonnement global mensuel à chaque station en 2003 (MJ/m².d)

Table 4.1: Global monthly irradiation at each station in 2003 (MJ/m<sup>2</sup>.d)

|                  | Genève | Changins | Pully | Thonon | Thonon<br>1971-2003 |
|------------------|--------|----------|-------|--------|---------------------|
| Janvier          | 3.1    | 3.5      | 3.9   | 3.1    | 3.0                 |
| Février          | 6.6    | 6.7      | 6.8   | 6.6    | 5.6                 |
| Mars             | 14.3   | 14.1     | 14.1  | 15.0   | 10.4                |
| Avril            | 17.5   | 17.6     | 17.5  | 18.8   | 15.1                |
| Mai              | 19.4   | 18.8     | 18.4  | 21.2   | 18.3                |
| Juin             | 25.0   | 24.2     | 23.9  | 26.9   | 20.4                |
| Juillet          | 22.5   | 21.3     | 21.4  | 25.1   | 21.0                |
| Août             | 20.1   | 18.8     | 19.2  | 22.0   | 18.1                |
| Septembre        | 15.1   | 14.4     | 14.3  | 16.0   | 13.0                |
| Octobre          | 7.5    | 7.5      | 7.6   | 7.3    | 7.0                 |
| Novembre         | 5.1    | 4.8      | 5.4   | 4.6    | 3.6                 |
| Décembre         | 4.0    | 3.7      | 4.5   | 3.5    | 2.5                 |
| Moyenne annuelle | 13.3   | 13.0     | 13.1  | 14.3   | 11.5                |

Pour Thonon, l'année 2003 se caractérise par des moyennes mensuelles toujours supérieures à la moyenne de la période 1971-2000. Le rayonnement global annuel obtenu est de 5'212.2 MJ/m². C'est la première fois depuis 1971, début de l'enregistrement, qu'il dépasse 5'000 MJ/m².

Tableau 4.2: Rayonnement global annuel à Thonon (MJ/m²)

Table 4.2: Global annual irradiation at Thonon (MJ/m²)

| Années | Rayonnement global total annuel | Années | Rayonnement global total annuel |
|--------|---------------------------------|--------|---------------------------------|
| 1980   | 4'170.7                         | 1992   | 4'096.8                         |
| 1981   | 4'216.6                         | 1993   | 4'038.2                         |
| 1982   | 4'472.0                         | 1994   | 4'102.9                         |
| 1983   | 4'220.9                         | 1995   | 4'351.4                         |
| 1984   | 4'011.5                         | 1996   | 4'113.7                         |
| 1985   | 4'006.5                         | 1997   | 4'306.1                         |
| 1986   | 3'850.7                         | 1998   | 4'290.6                         |
| 1987   | 3'700.9                         | 1999   | 4'123.9                         |
| 1988   | 3'943.2                         | 2000   | 4'501.7                         |
| 1989   | 4'195.8                         | 2001   | 4'319.4                         |
| 1990   | 4'293.7                         | 2002   | 4'344.1                         |
| 1991   | 4'291.3                         | 2003   | 5'212.2                         |

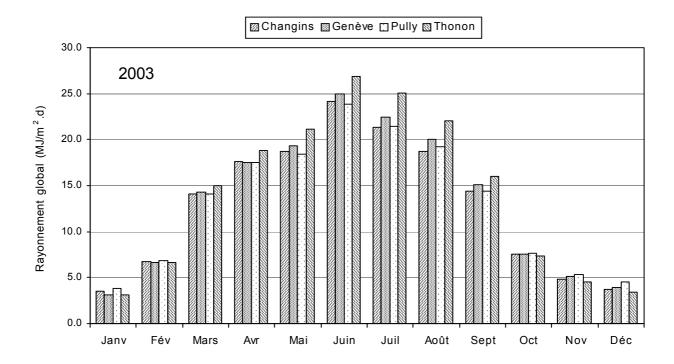


Figure. 4.1 : Moyenne mensuelle du rayonnement global de chaque station en 2003

Figure.4.1: Mean monthly global irradiation at station in 2003

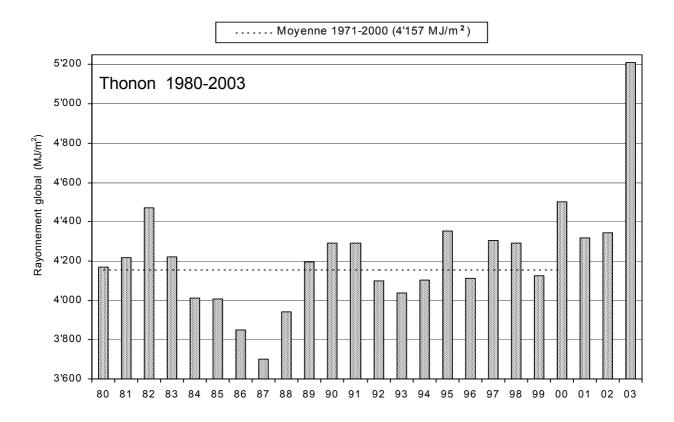


Figure 4.2 : Rayonnement global annuel à Thonon Figure 4.2 : Global annual irradiation at Thonon

#### 6. VENT

Rappelons que depuis mars MétéoSuisse délivre le vent sous la forme de la moyenne journalière. Pour l'année 2003 à Changins, station de référence, la moyenne se situe sous celle de la période 1981-2003. Excepté le mois de janvier, toutes les moyennes sont inférieures à leurs moyennes de référence.

Tableau 5.1: Moyenne mensuelle de la vitesse du vent en 2003 (m/s)

| Table 5.1: | Mean monthly | v windspeed in | 2003 | (m/s |
|------------|--------------|----------------|------|------|
|            |              |                |      |      |

|                  | Genève | Changins | Pully | Montreux | Thonon | Changins<br>1981-2003 |
|------------------|--------|----------|-------|----------|--------|-----------------------|
| Janvier          | 3.3    | 2.8      | 1.6   | 1.2      | 3.3    | 2.4                   |
| Février          | 2.4    | 2.1      | 1.4   | 1.1      | 2.3    | 2.8                   |
| Mars             | 2.2    | 2.8      | 1.4   | 1.1      | 1.6    | 3.4                   |
| Avril            | 3.1    | 3.1      | 1.7   | 1.1      | 2.4    | 3.5                   |
| Mai              | 2.2    | 2.2      | 1.4   | 1.1      | 1.5    | 3.0                   |
| Juin             | 1.9    | 2.2      | 1.4   | 1.1      | 1.4    | 3.0                   |
| Juillet          | 2.2    | 2.5      | 1.4   | 1.1      | 1.8    | 2.9                   |
| Août             | 1.7    | 2.2      | 1.4   | 1.1      | 1.9    | 2.7                   |
| Septembre        | 1.9    | 2.2      | 1.7   | 1.1      | 1.3    | 2.7                   |
| Octobre          | 1.9    | 1.9      | 1.4   | 1.1      | 2.2    | 2.5                   |
| Novembre         | 1.1    | 1.4      | 0.8   | 1.1      | 1.2    | 2.5                   |
| Décembre         | 1.9    | 2.2      | 1.4   | 1.1      | 2.2    | 2.6                   |
| Moyenne annuelle | 2.2    | 2.3      | 1.4   | 1.1      | 1.9    | 2.8                   |

Pour l'année 2003 à Changins, il n'a été enregistré que 26 jours à vent fort (> 5 m/s) dont 14 sur le premier trimestre et 6 sur le second semestre. Durant l'été (juin, juillet, août) aucun vent fort ne fut enregistré.

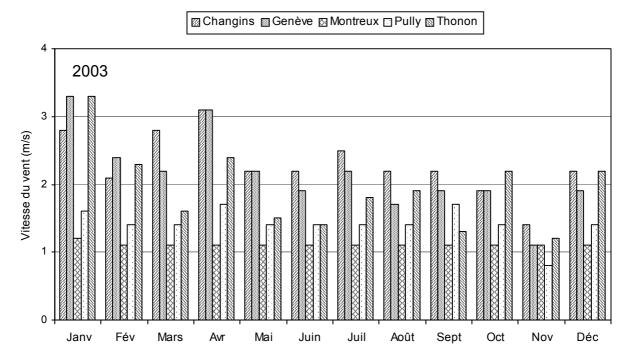


Figure 5.1: Moyenne mensuelle de la vitesse de vent de chaque station à 13 heures en 2003

Figure 5.1: Mean monthly wind speed at each station at 1 p.m. in 2003

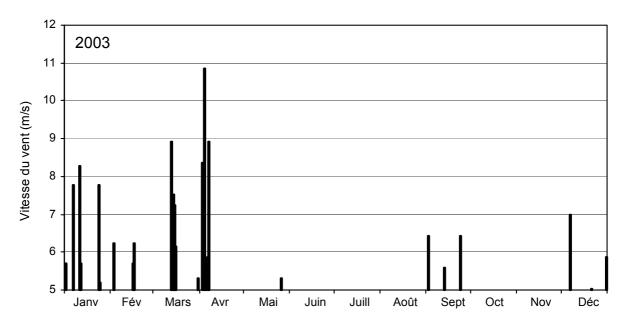


Figure 5.2 : Répartition annuelle (en 2003) des vents forts (> 5 m/s) à Changins à 13 heures

Figure 5.2 : Annual distribution (in 2003) of strong winds (> 5 m/s) at Changins at 1 p.m.

#### 7. CONCLUSIONS

L'année climatique 2003 sur les rives du Léman est encore une fois considérée comme une année chaude. Avec 12.1°C de moyenne inter-stations, c'est la 11° fois depuis 1990 que celle-ci dépasse 11.0°C, et elle est en augmentation de plus de 2.35°C depuis 1978. Avec 790 mm de lame d'eau moyenne, 2003 fut une année sèche. L'insolation, comme le rayonnement global sont supérieurs à leurs moyennes. L'année 2003 fut faiblement venteuse. Les vents forts (> 5m/s) furent moins nombreux qu'en 2002, année où leur nombre fut déjà faible. L'année 2003 se caractérise par une longue période de sécheresse et de canicule ainsi qu'un fort ensoleillement.

## ÉVOLUTION PHYSICO-CHIMIQUE ET RECHERCHE DE MÉTAUX ET DE QUELQUES MICROPOLLUANTS DANS LES EAUX DU LÉMAN

## PHYSICAL-CHEMICAL CHANGES AND TESTS FOR METALS AND VARIOUS MICROPOLLUTANTS IN THE WATERS OF LAKE GENEVA

#### Campagne 2003

**PAR** 

#### Jérôme LAZZAROTTO

STATION D'HYDROBIOLOGIE LACUSTRE (INRA-UMR/CARRTEL), BP 511, FR - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex

#### François RAPIN

SECRÉTARIAT DE LA COMMISSION INTERNATIONALE POUR LA PROTECTION DES EAUX DU LÉMAN CP 80, CH - 1000 LAUSANNE 12

#### Claude CORVI

SERVICE DE PROTECTION DE LA CONSOMMATION, CP 166, CH - 1211 GENÈVE 4

#### RÉSUMÉ

L'année 2003 se caractérise par une activité photosynthétique printanière importante avec un fort réchauffement, puis une période d'eau claire marquée.

L'hiver 2002-2003 n'a pas fourni de brassage permettant de réoxygéner les eaux profondes. On peut estimer que la circulation hivernale des eaux a atteint 160 mètres en février 2003.

La concentration en oxygène dissous est inférieure à 4 mgO<sub>2</sub>/L à partir du mois de septembre pour les eaux du fond du Grand Lac.

La concentration moyenne en phosphore total du lac est de 32.8 μgP/L en 2003, cette valeur indique une diminution sensible par rapport à l'année 2002.

Le stock du lac en chlorure a augmenté de 8 % en un an, on observe désormais une concentration moyenne de 8.47 mg/L de chlorure. Cependant, on constate en début d'année 2004 des teneurs qui sont dans la tendance des années précédentes.

On observe un comportement asymptotique de la teneur en phosphore pour ces dernières années, il est donc important de poursuivre et d'intensifier les efforts au niveau de la lutte à la source et au niveau de l'assainissement.

L'azote nitrique et l'azote total restent constants relativement aux années précédentes.

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. Des traces d'herbicides triaziniques et de métolachlore sont toujours décelées dans les eaux du lac. Bien que les concentrations demeurent faibles, et probablement sans effet toxique sur l'écosystème, il faut relever que leur présence n'est pas souhaitable et que toute mesure visant à en limiter l'apport est à encourager.

#### **ABSTRACT**

2003 was characterized by high photosynthetic activity in the spring with marked warming, followed by a distinct period of clear water.

The winter of 2002-2003 did not provide enough churning to reoxygenate the water at the bottom of the lake. The winter circulation of the water can be estimated to have reached a depth of 160 meters in February 2003.

The concentration of dissolved oxygen in the water at the bottom of the Grand Lac was less than 4 mgO $_2$ /L from the month of September .

The mean total phosphorus concentration of the lake was 32.8 μgP/L in 2003, a value that indicates a clear reduction from 2002.

The chloride reserves in the lake increased by 8 % in one year, and the mean concentration of chloride is now 8.47 mg/L. This increase is much greater than in previous years.

The level of phosphorus in recent years displays an asymptotic pattern, which means that it is important to continue to step up efforts to tackle this, both at source and by means of purification.

The nitric and total nitrogen levels remained fairly similar to previous years.

The heavy-metal content of the waters of lake Geneva have remained low, and comply fully with the requirements specified for drinking water and water for fish life. Traces of triazine herbicides and metolachlor are still detectable in the water of the lake. Although these concentrations are still low, and probably have no toxic effect on the ecosystem, it should be pointed out that the presence of these metals is not desirable, and every attempt to restrict their input should be encouraged.

#### 1. MÉTHODES

La station de mesure des paramètres physico-chimiques, représentée sur la figure 1, est la suivante :

 SHL2 au centre du Grand Lac entre Evian et Lausanne (coord. : 534.70/144.95) correspond à la partie la plus profonde du lac (309.7 m),

Cette station SHL2 est admise comme représentative du Grand Lac au point de vue physico-chimique quant à l'évolution à long terme (BLANC et al., 1993).

#### • Profondeurs et fréquence d'échantillonnage - station SHL 2 (Grand Lac)

Le suivi de la qualité des eaux s'effectue aux profondeurs suivantes :

La fréquence des prélèvements est adaptée au cycle biologique du lac. Elle est mensuelle de décembre à février, mois pendant lesquels l'activité biologique est réduite, puis bimensuelle de mars à novembre, lorsque l'activité biologique est intense et subit de fortes et rapides fluctuations. Il y a eu 20 campagnes de prélèvements en 2003.

Les prélèvements sont effectués, selon des techniques uniformisées, par la Station d'Hydrobiologie Lacustre (INRA-UMR/CARRTEL-Thonon-les-Bains), qui procède également à diverses mesures "in situ".

Les échantillons sont analysés par le laboratoire de la Station d'Hydrobiologie Lacustre. La validité des résultats est périodiquement testée par des analyses interlaboratoires auxquelles participent environ 20 laboratoires. En 2003, les résultats analytiques sont concordants (STRAWCZYNSKI, 2004).

De plus, lors de chaque campagne, des profils verticaux (mesures à chaque mètre) de température, oxygène dissous, conductivité électrique, pH, turbidité, chlorophylle *in vivo* et transmission de la lumière sont réalisés à l'aide d'une sonde multiparamètres immergeable (BLANC *et al.*, 1994).

Certains métaux et micropolluants organiques sont recherchés, à différentes profondeurs (0 - 1 - 5 - 7.5 - 10 - 30 - 100 - 305 - 309 m), après circulation des eaux (mars) et en période de stratification (septembre). Les éléments suivants ont été dosés : manganèse, plomb, cadmium, chrome, cuivre et mercure. Les herbicides décelés antérieurement dans les eaux du Léman et d'autres produits phytosanitaires : des insecticides et fongicides chlorés, des insecticides organophosphorés et d'autres herbicides du type triazine ou des dérivés de l'urée ont été recherchés. Quelques dosages d'EDTA et de NTA ont également été effectués. La liste des produits recherchés est donnée en annexe 1. La méthodologie analytique est décrite dans CORVI et KHIM-HEANG (1996).

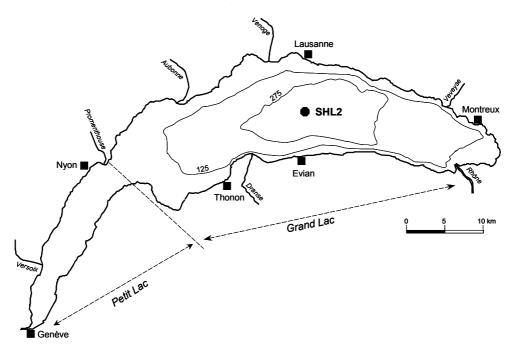


Figure 1 : Situation du point de prélèvement Figure 1 : Location of the sampling station

#### 2. RÉGIME THERMIQUE ET INFLUENCE SUR LA STRATIFICATION OU LE MÉLANGE DES EAUX

L'hiver 2002-2003 a été assez froid (figures 2a et 2b), on observe une température constante de 6.1 °C sur toute la longueur de la colonne d'eau lors de la campagne du 20 février 2003, mais les vents n'ont pas été suffisamment forts pour homogénéiser l'ensemble de la colonne d'eau. Cela a entraîné un brassage incomplet atteignant 160 m pour l'année 2003 (figure 3), soit légèrement supérieur à celui de 2002 (150 m).

La réoxygénation des eaux du fond a continué après le brassage pour atteindre un maximum en oxygène dissous le 10 mars 2003 avec 6.26 mg $O_2/L$ .

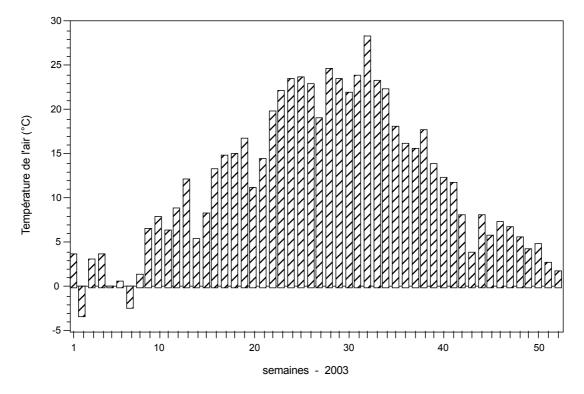


Figure 2 a : Température moyenne hebdomadaire de l'air à la station de Pully en 2003

Figure 2 a: Mean weekly air temperature at the Pully station in 2003

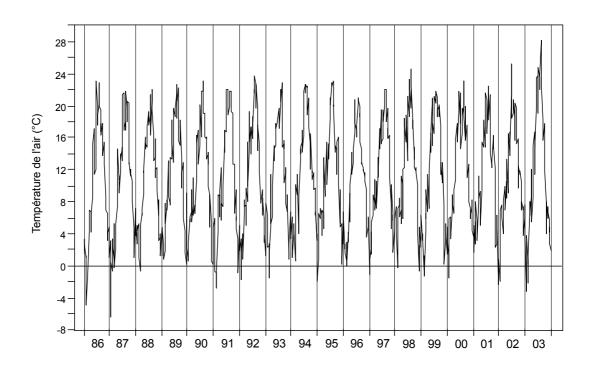


Figure 2 b : Température moyenne hebdomadaire de l'air à la station de Pully de 1986 à 2003

Figure 2 b: Mean weekly air temperature at the Pully station from 1986 to 2003

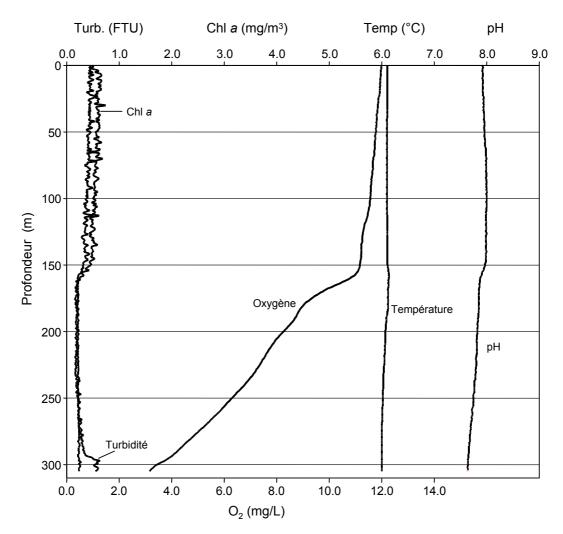


Figure 3 : Profil à la sonde multiparamètres ( 20.02.2003)

Fi gure 3: Multi-Parameter Water Quality Logger profile (20.02.2003)

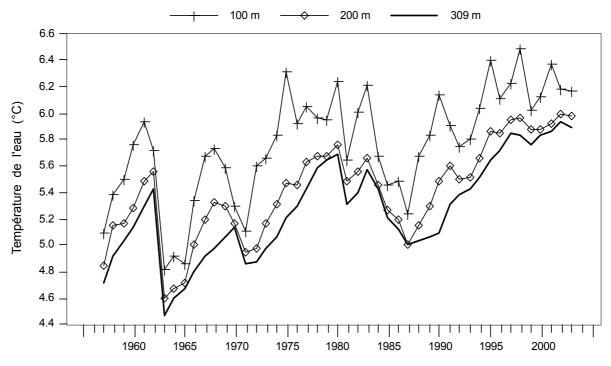


Figure 4 : Evolution de la température moyenne annuelle de l'eau à 100, 200 et 309 mètres de profondeur, Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 4: Change in the mean annual water temperature at depths of 100, 200 and 309 meters, lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

## Température (°C) - Léman / Grand Lac (SHL 2) - 1996 à 2003

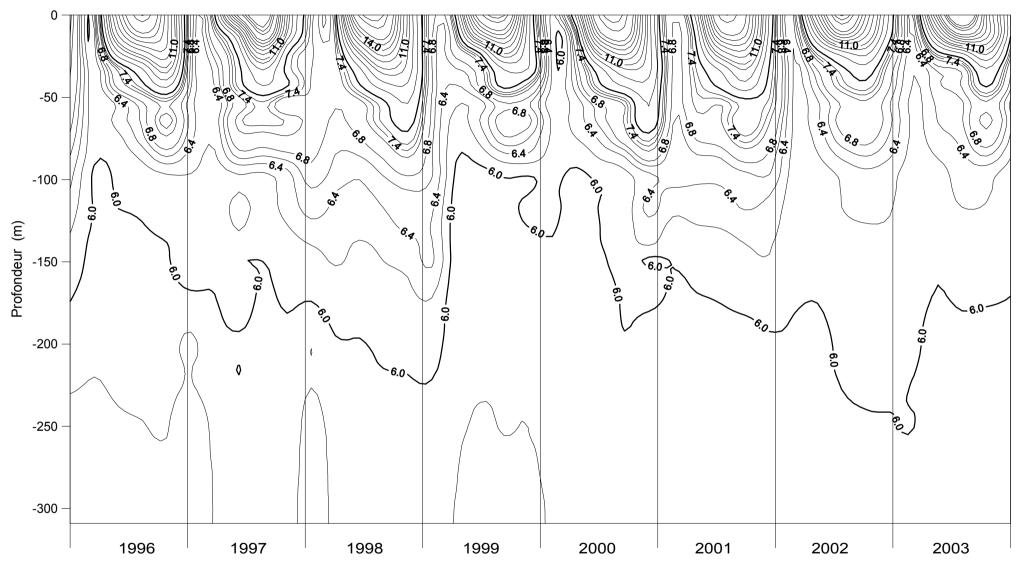


Figure 5 : Température des eaux du Léman (Grand Lac - SHL2) en fonction de la profondeur (N.B. : suivant le nombre d'années prises en considération, de très légères modifications de présentation graphique peuvent apparaître (différence de lissage des courbes d'isovaleurs)

Figure 5: Water temperature in lake Geneva (Grand Lac - SHL2) as a function of depth (N.B.: depending on how many years are taken into consideration, there may be some very slight differences in the graphical presentation (differences in the smoothing of the isothermal curves)

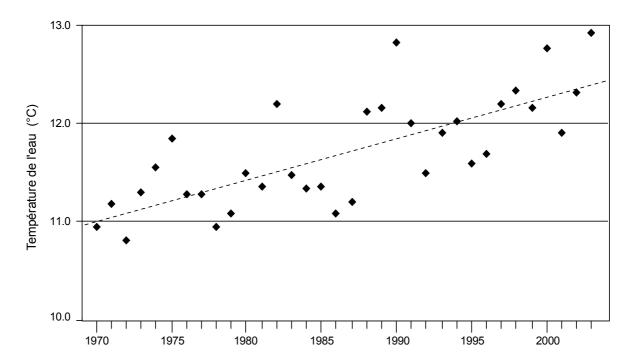


Figure 6 : Evolution de la température moyenne annuelle de l'eau du Léman à 5 mètres de profondeur - Grand Lac (SHL2)

Figure 6 : Change in the mean annual water temperature of lake Geneva at a depth of 5 meters - Grand Lac (SHL2)

On observe toujours une tendance à l'augmentation de la température de la colonne d'eau du Léman depuis les années 1960 (figures 4, 5 et 6).

La figure 7 indique un réchauffement exceptionnel sur les couches 0-5 m durant la canicule de l'été 2003 (QUETIN, 2004). Ce réchauffement n'affecte que les premiers mètres du lac et aura un impact sur l'évolution des phénomènes biologiques (cf. 3.1).

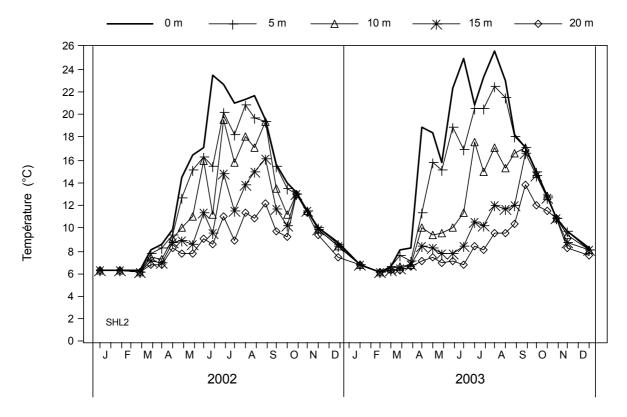


Figure 7 : Température de l'eau des couches superficielles (0, 5, 10, 15 et 20 m) Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 7: Temperature of the water in the surface layers (0, 5, 10, 15 and 20 m) lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

## 3. ÉVOLUTION SAISONNIÈRE DANS LES COUCHES SUPERFICIELLES

## 3.1 Brassage hivernal et reprise de l'activité photosynthétique au printemps

Le brassage hivernal du début de l'année 2003 permet un renouvellement partiel des nutriments en provenance des couches profondes. La concentration en orthophosphates est remontée à 22 µgP/L au début février 2003 dans les couches superficielles contre 20 µgP/L en mars 2002 (figures 8 et 9).

Parallèlement, l'azote nitrique est remonté à 600 μgN/L (figure 10) et la silice dissoute à 1.44 mgSiO<sub>2</sub>/L (figure 11) dans les couches superficielles au mois de février.

La transparence maximale de 14.0 m observée le 20 février 2003 est du même ordre que l'année précédente (13.0 m en février 2002) (figure 12).

L'activité photosynthétique a faiblement démarré à partir de mi-mars, puis a continué plus fortement fin avril, suivant le réchauffement des eaux superficielles (figure 12). Cette augmentation de l'activité photosynthétique commence beaucoup plus tard qu'en 2002 et ne s'est pas maintenue toute l'année; on observe deux autres croissances phytoplanctoniques notables durant l'année : en été et en automne.

Cette activité est accompagnée d'une chute brutale en nutriments (PO<sub>4</sub>³, SiO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>⁻: figures 9 à 11) et de faibles valeurs de transparence (inférieure à 5 mètres : figure 12) qui correspondent à la poussée de diatomées.

L'activité phytoplanctonique induit aussi une augmentation de l'oxygène dissous dans les couches superficielles, cette augmentation due au départ de l'activité phytoplanctonique est moins importante que l'année précédente, cette concentration atteint  $13.48~{\rm mgO_2/L}$  en surface le 24 mars 2003 contre  $16.63~{\rm mgO_2/L}$  le  $18~{\rm mars}$  2002 (figure 13).

On observe cependant les maxima de l'oxygénation par l'activité phytoplanctonique durant le mois de juin à 5 m où elle atteint plus de 16  $mgO_2/L$ , alors que l'oxygénation due à la photosynthèse en été 2002 est beaucoup plus modérée et atteint une concentration de l'ordre de 12  $mgO_2/L$ .

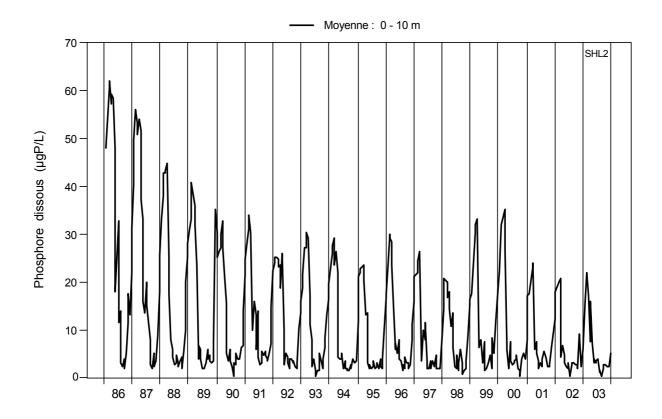


Figure 8 : Concentration en phosphore dissous (PO<sub>4</sub><sup>3</sup>) des eaux de la couche superficielle (moyenne 0-10 m), Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 8: Concentration of dissolved phosphorus (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) in the water in the surface layers (mean 0-10 m), lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

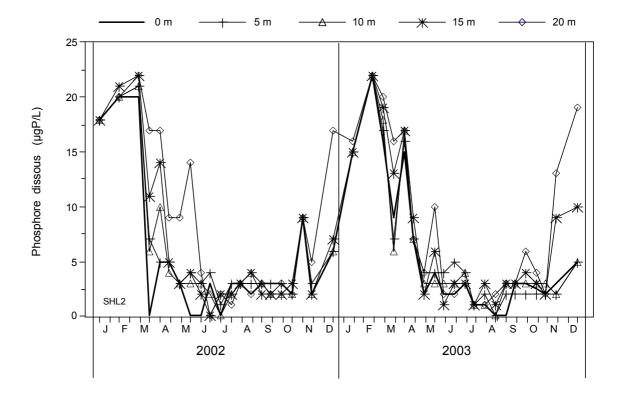


Figure 9 : Concentration en phosphore dissous (PO<sub>4</sub>³-) des eaux des couches superficielles (0, 5, 10, 15 et 20 m), Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 9 : Concentration of dissolved phosphorus ( $PO_4^{3-}$ ) in the water in the surface layers (0, 5, 10, 15 and 20 m), lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

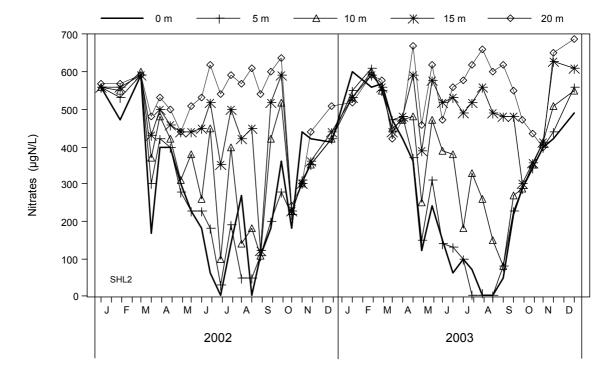


Figure 10 : Concentration en nitrate (NO<sub>3</sub>-) des eaux des couches superficielles (0, 5, 10, 15 et 20 m), Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 10: Concentration of nitrate (NO<sub>3</sub>-) in the water in the surface layers (0, 5, 10, 15 and 20 m), lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

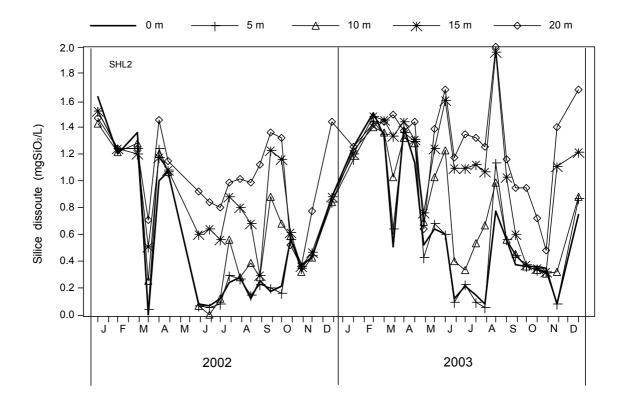


Figure 11 : Concentration en silice dissoute (SiO<sub>2</sub>) des eaux des couches superficielles (0, 5, 10, 15 et 20 m), Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 11 : Concentration of dissolved silica  $(SiO_2)$  in the water in the surface layers (0, 5, 10, 15 and 20 m), lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

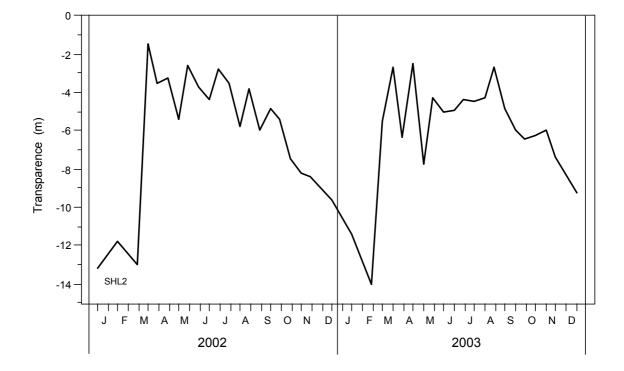


Figure 12 : Transparence mesurée avec le disque de Secchi, Léman - Grand Lac (SHL2)
Figure 12 : Transparency measured using a Secchi disk, lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

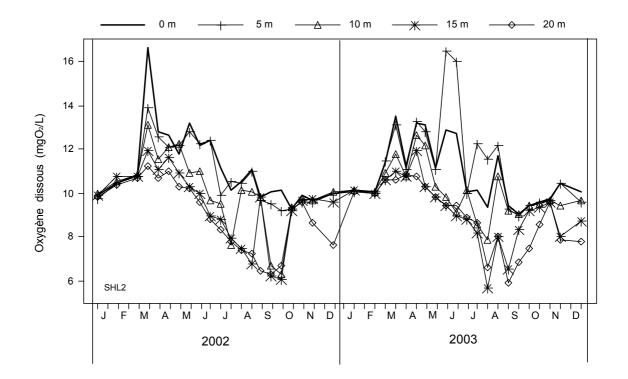


Figure 13 : Concentration en oxygène dissous des eaux des couches superficielles (0, 5, 10, 15 et 20 m), Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 13 : Concentration of dissolved oxygen in the water in the surface layers (0, 5, 10, 15 and 20 m), lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

### 3.2 Reste de l'année

La période des " eaux claires " est liée au développement du zooplancton. Elle est bien marquée cette année : on l'observe au mois de mai avec une transparence maximum de 7.7 m durant la campagne du 12 mai 2003. A la différence de l'année précédente où elle fut de 3.5 m en avril 2002, cette période se distingue nettement du reste de l'année 2003 (figure 12).

Confirmant cette situation, on constate une augmentation de l'azote ammoniacal due au développement du zooplancton et de ses excrétas (BALVAY et *al.*, 2004). L'azote ammoniacal atteint des concentrations de 40 µgN/L en surface de manière continue d'avril à juin avec un maximum de 96 µgN/L en mai, soit du même ordre que l'année précédente (figure 14).

L'activité phytoplanctonique redémarre début juin entraînant une chute des concentrations en nutriments dans les couches superficielles. La silice, les orthophosphates et les nitrates chutent à la même période (figures 9 à 11), les orthophosphates restent à des concentrations très faibles jusqu'en décembre (figure 9).

Cette activité est accompagnée d'un pic en carbone particulaire et en azote particulaire et atteint un maximum lors de la campagne du 24 mars 2003 (figure 15).

Les températures des couches superficielles en 2003 sont supérieures à celles de 2002, avec 2°C supplémentaires pour la période estivale. L'été 2003 a été exceptionnellement chaud comparativement aux 20 années précédentes (figure 7).

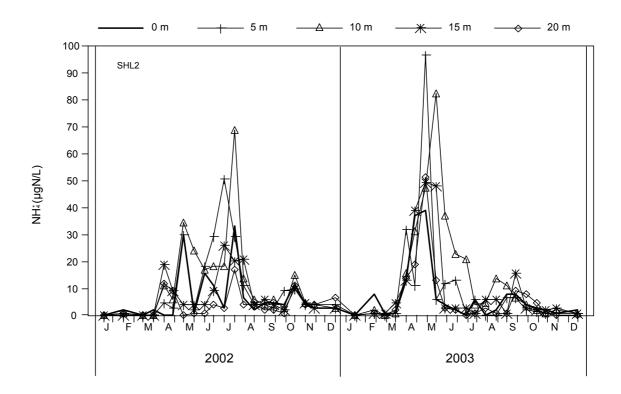


Figure 14 : Concentration en azote ammoniacal des eaux des couches superficielles (0, 5, 10, 15 et 20 m), Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 14: Concentration of ammoniacal nitrogen in the water in the surface layers (0, 5, 10, 15 and 20 m), lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

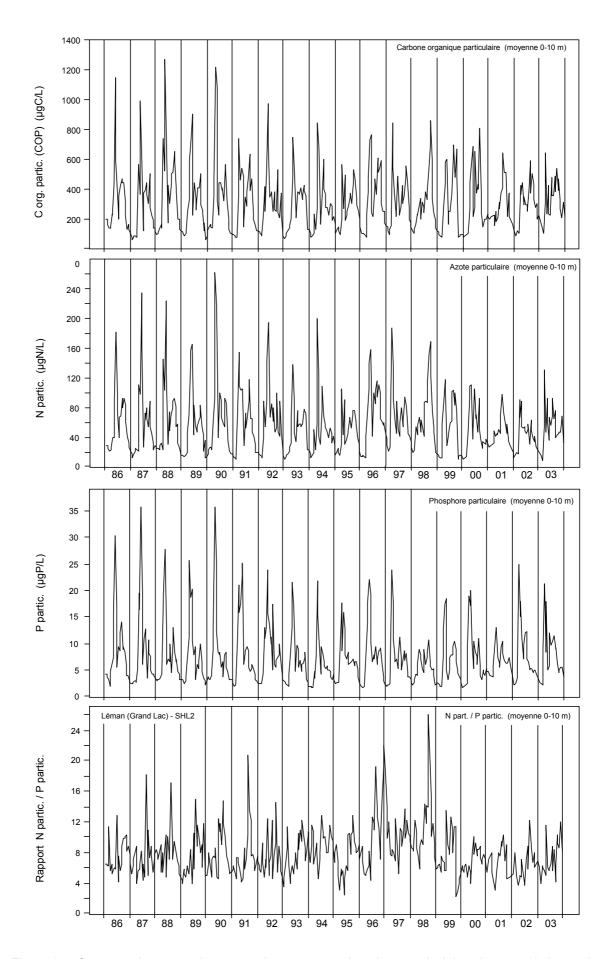


Figure 15 : Concentrations en carbone organique, azote et phosphore particulaires des eaux de la couche superficielle (0-10 m) et rapport Nparticulaire / Pparticulaire, Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 15: Concentrations of particulate organic carbon, nitrogen and phosphorus in the water in the surface layer (0-10 m) and the N/P particulates ratio, lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

## 4. ÉVOLUTION SAISONNIÈRE DANS LES COUCHES PROFONDES

Depuis 1986, on n'a pas observé de brassage absolument complet du lac ; une température identique de l'eau de la surface jusqu'au fond du lac et des vents suffisamment forts sont les conditions permettant le brassage complet des eaux et une homogénéisation des eaux, cela n'a pas été observé depuis cette date. De ce fait, le dernier brassage presque complet remonte à 1999 (figure 16).

L'homogénéisation de la colonne d'eau atteint 160 m, observée lors de la campagne du 20 février 2003; elle est donc insuffisante pour assurer la réoxygénation des eaux profondes (figureS 16 et 18).

Lors du brassage, la concentration en oxygène dissous atteint  $6.26 \, \text{mgO}_2/\text{L}$ , elle se maintient aux environs de 5 mgO<sub>2</sub>/L jusqu'à fin août puis descend en dessous de 4 mgO<sub>2</sub>/L. La moyenne de la teneur en oxygène au fond du Grand Lac en 2003 est de 4.21 mgO<sub>2</sub>/L, contre 3.37 mgO<sub>2</sub>/L en 2002 et elle est en dessous de 4 mgO<sub>2</sub>/L à partir de septembre 2003 (figures 16 et 18).

L'oxygénation dans les eaux profondes a été suffisante pour limiter la réduction des sels de manganèse et leur diffusion à partir des sédiments (figure 19); cette diffusion entraı̂ne la remise en solution des orthophosphates contenus dans les sédiments (figure 17). Cette diffusion reste faible et du même ordre que les années précédentes : 92  $\mu$ gP/L au maximum le 9 décembre 2003 (contre 103  $\mu$ gP/L en 2002).

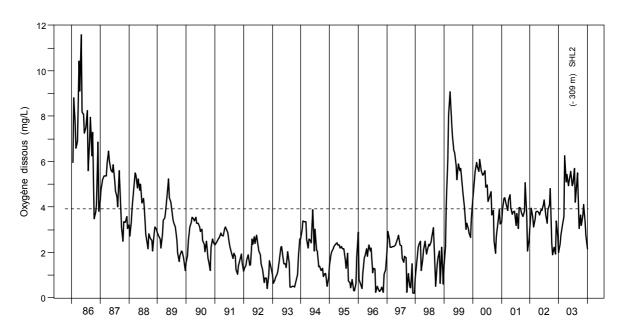


Figure 16 : Concentration en oxygène dissous des eaux du fond, Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 16 : Concentration of dissolved oxygen in the water at the bottom of the lake, lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

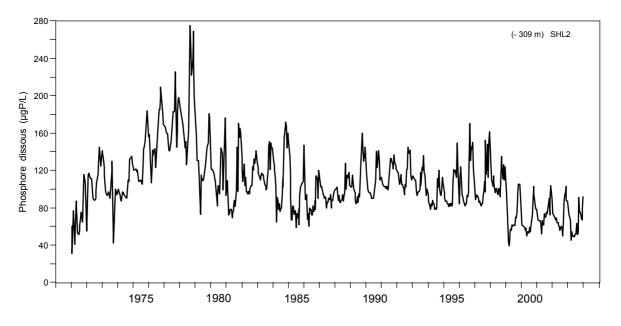


Figure 17 : Concentration en phosphore dissous (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) des eaux du fond, Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 17 : Concentration of dissolved phosphorus (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) in the water at the bottom of the lake, lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

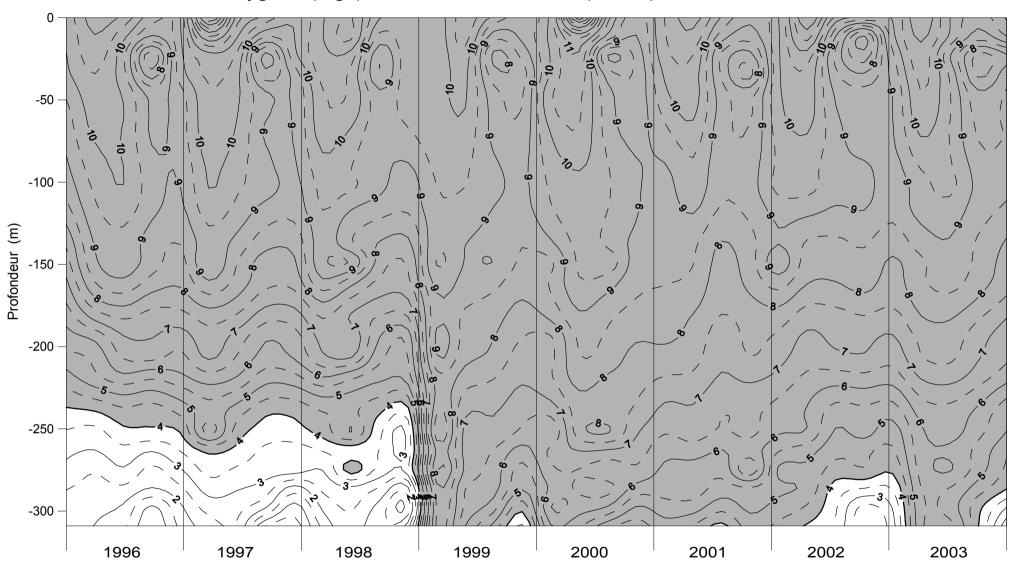


Figure 18 : Concentration en oxygène dissous des eaux du Léman (Grand Lac - SHL2) en fonction de la profondeur (zone grisée = concentration supérieure à 4 mg O<sub>2</sub> /L) (N.B. : suivant le nombre d'années prises en considération, de très légères modifications de représentation graphique peuvent apparaître - différence de lissage des courbes d'isovaleurs)

Figure 18: Concentration of dissolved oxygen in the water of lake Geneva (Grand Lac - SHL2) as a function of depth (shaded zone = concentration > 4 mgO<sub>2</sub>/L)

(N.B.: depending on how many years are taken into consideration, there may be some very slight differences in the graphical presentation (differences in the smoothing of the isothermal curves)

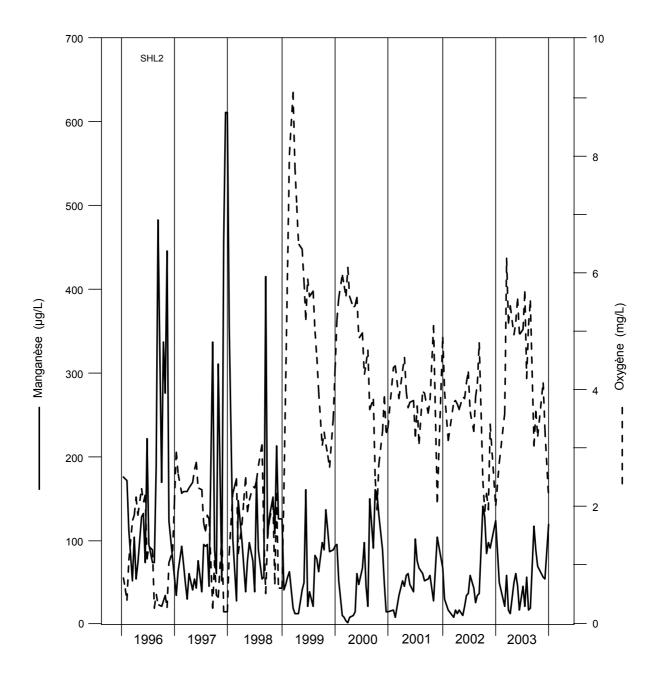


Figure 19 : Evolution comparée des concentrations en manganèse total et en oxygène dissous dans les eaux du fond du Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 19 : Comparison of the changes in the concentrations of total manganese and of dissolved oxygen in the water at the bottom of lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

## 5. ÉVOLUTION INTERANNUELLE DES PRINCIPAUX PARAMÈTRES

Les concentrations moyennes pondérées<sup>1</sup> pour l'ensemble du Grand Lac sont calculées à partir des mesures et des analyses effectuées sur les échantillons prélevés au centre du lac entre Lausanne et Evian (Grand Lac, point SHL 2 : figure 1) (cf. annexes).

# **5.1 Oxygène dissous** (figures 16, 18, 19 et 20)

Le faible brassage observé au mois de février 2003 n'a pas permis une réoxygénation totale des couches profondes, cependant cette année est marquée par une réoxygénation plus importante que ces 3 dernières années.

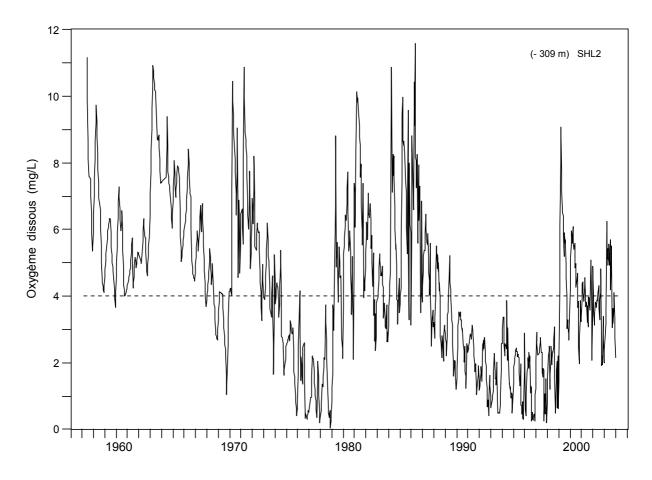


Figure 20 : Concentration en oxygène dissous des eaux au fond du Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 20 : Concentration of dissolved oxygen in the water at the bottom of lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

Sur les figures 16 et 20, la limite indiquée à 4 mg  $O_2/L$  correspond aux exigences relatives à la qualité des eaux, Annexe 2 de l'Ordonnance suisse sur la protection des eaux (OEaux) du 28 octobre 1998 :

"Pour les lacs, il faut également que : ... la teneur en oxygène de l'eau ne soit, à aucun moment et à aucune profondeur, inférieure à 4 mg  $O_2/L$  ... Les conditions naturelles particulières sont réservées".

Les concentrations moyennes pondérées sont calculées de la façon suivante :

 $C = \frac{\sum (Ci \cdot Vi)}{\sum (Ci \cdot Vi)}$  avec V = Vi = Vi avec V = Vi = Vi V = Vi

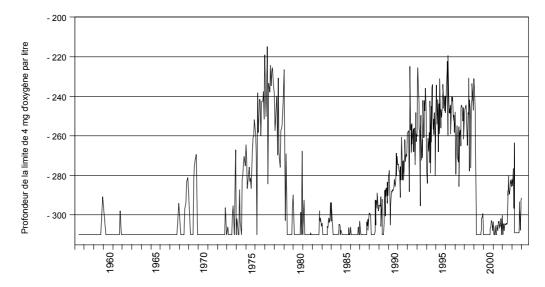


Figure 21: Evolution de la profondeur de la limite à 4 mg O<sub>2</sub>/L dans le Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 21: Change in the depth of the 4 mg O<sub>2</sub>/L threshold in lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

Le graphique de la figure 21 indique l'épaisseur de la colonne d'eau depuis le fond (-309 m) qui a des concentrations en oxygène inférieures à  $4~\text{mgO}_2/\text{L}$ .

# **5.2** Phosphore dissous et phosphore total (figures 22 et 23)

En 2003, le stock moyen en phosphore total a sensiblement diminué par rapport à 2002. On observe une baisse de 4 % en phosphore total et de 6 % en phosphore dissous, soit 2'805 tonnes de P en phosphore total et 2'370 tonnes de P pour le phosphore dissous. Ce qui correspond à une concentration moyenne de 32.8  $\mu$ gP/I en phosphore total (contre 34.0  $\mu$ gP/L en 2002) et de 27.7  $\mu$ gP/L en phosphore dissous (contre 29.5  $\mu$ gP/L en 2002) (figure 22).

La baisse du stock du lac en phosphore continue mais plus lentement que dans les années 1990, des efforts supplémentaires de réduction du phosphore sont à produire, au niveau de l'assainissement et à la source, afin de pouvoir atteindre l'objectif de 20  $\mu$ gP/L

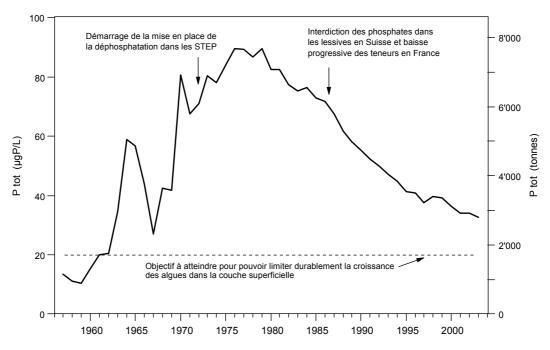


Figure 22 : Evolution de la concentration moyenne annuelle pondérée et du stock de phosphore total contenu dans le Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 22 : Change in the weighted mean annual total phosphorus concentration and total phosphorus content of the lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

La figure 23 montre l'évolution des concentrations en phosphore dissous dans les différentes couches pour les années 1996 à 2003.

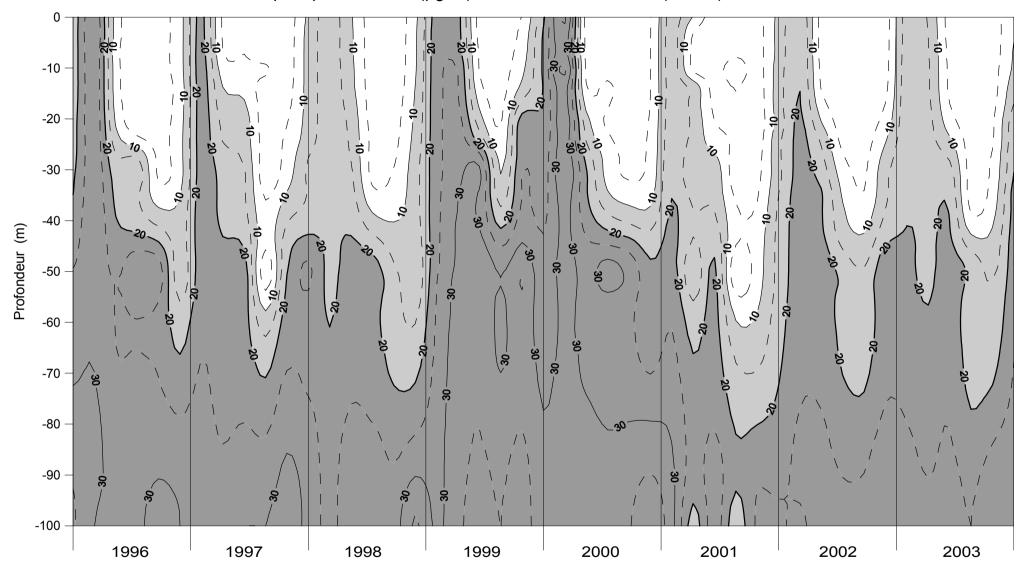


Figure 23 : Concentration en phosphore dissous (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) dans les différentes couches du Léman (SHL2) (zone grisée foncée = concentration supérieure à 20 μg P/L; zone grisée claire = concentration entre 10 et 20 μg P/L) (N.B. : suivant le nombre d'années prises en considération, de très légères modifications de représentation graphique peuvent apparaître (différence de lissage des courbes d'isovaleurs)

Figure 23 : Concentration of dissolved phosphorus ( $PO_4^{3-}$ ) in the various layers of lake Geneva (SHL2) (dark gray shaded zone = concentration > 20  $\mu$ gP/L; light gray shaded zone = concentration between 10 and 20  $\mu$ gP/L) (N.B.: depending on how many years are taken into consideration, there may be some very slight differences in the graphical presentation (differences in the smoothing of the isothermal curves)

## **5.3 Transparence** (figure 24)

L'évolution de la transparence est représentée par la figure 24. La transparence observée en 2003 est du même ordre qu'en 2002, avec un période des " eaux claires " plus marquée (figure 12).

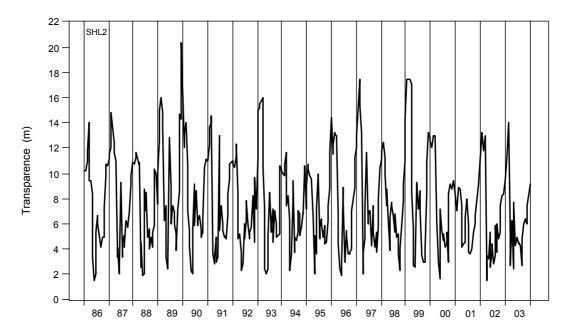


Figure 24 : Evolution de la transparence mesurée avec le disque de Secchi, Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 24: Change in the transparency measured using a Secchi disk, lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

## **5.4** Azote nitrique et azote total (figure 25)

L'azote nitrique reste constant depuis quelques années avec une teneur moyenne annuelle de 0.58 mgN/L en 2003, soit  $2.55 \text{ mgNO}_3$ /L (la norme pour l'eau de boisson en Suisse est de 40 mgNO $_3$ -/L et en France de  $50 \text{ mgNO}_3$ -/L).

L'azote total reste constant relativement aux années précédentes avec une concentration de 0.634 mgN/L en 2003 soit un stock de 54'310 tonnes N (figure 25).

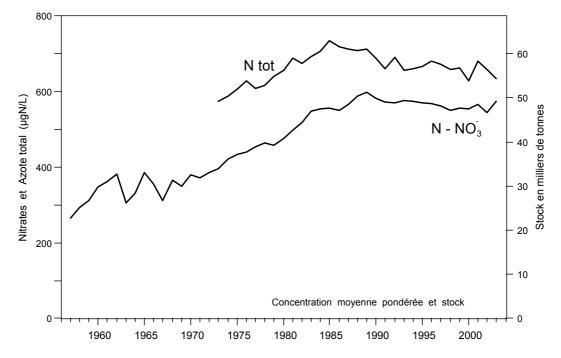


Figure 25 : Evolution de la concentration moyenne annuelle pondérée et des stocks d'azote total et d'azote nitrique contenus dans le Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 25 : Change in the weighted mean annual total nitrogen concentration, in the total nitrogen content and the nitric nitrogen content of the lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

## 5.5 Chlorure (figure 26)

Depuis le début des mesures en 1971, la teneur du Grand Lac en chlorure est en augmentation et passe en 2003 à 8.47 mg/L contre 2.73 mg/L en 1971 (figure 26). Le stock moyen du Grand Lac est alors de 725'580 tonnes de chlorure, soit 8 % de plus qu'en 2002. Cette augmentation est très importante; durant les années précédentes, le stock du lac en chlorure augmentait de l'ordre de 4 % par an. Nous devons rester vigilants sur cette évolution. Cependant, on constate en début d'année 2004 des teneurs qui sont dans la tendance de ces dernières années.

L'étude menée par GUMY et De ALENCASTRO (2001) indique que les principales sources de chlorure pour le Léman sont l'industrie majoritairement et les sels de déneigement. Il est à noter que les concentrations de chlorure observées dans le Léman sont très inférieures aux valeurs toxiques citées dans la littérature.

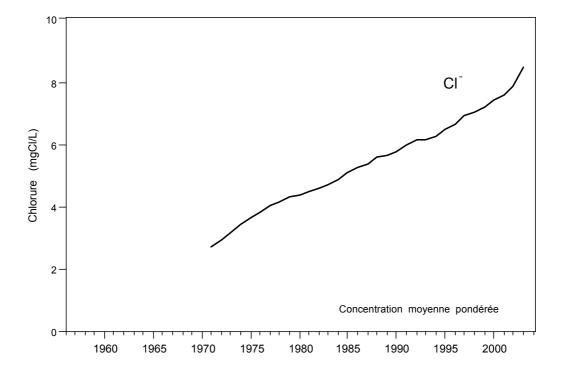


Figure 26 : Evolution de la concentration moyenne annuelle en chlorure, pondérée pour l'ensemble de la masse d'eau du Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 26 : Change in the weighted mean annual concentration of chloride in the entire mass of the water of the lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

## 6. MÉTAUX ET MICROPOLLUANTS ORGANIQUES

## **6.1 Métaux** (tableaux 1 et 2)

Les concentrations en métaux sont déterminées sur les échantillons d'eau brute acidifiée sans filtration préalable, il s'agit donc de métaux totaux.

Les teneurs en éléments métalliques toxiques (mercure, plomb, cadmium et chrome) demeurent faibles, voire inférieures aux limites de détection (tableaux 1 et 2) 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 teneurs en cuivre du printemps (28.04.2003) et en septembre (29.09.2003) sont relativement élevées. Les fluctuations temporelles voire spatiales observées ces dernières années pour cet élément demeurent à ce jour non expliquées. Une étude en cours vise à expliciter cette constatation.

Les valeurs du manganèse, métal non toxique, sont données à titre indicatif. Elles permettent d'apprécier les conditions d'oxygénation des eaux du fond (figure 19).

Les concentrations toxiques pour le poisson, citées dans la littérature (REICHENBACH-KLINKE, 1966; DIETRICH, 1995), varient pour chaque espèce, selon la nature et la forme chimique du métal mais sont bien supérieures (de quelques ordres de grandeurs supérieures ?) aux concentrations observées dans les eaux du lac.

## 6.2 Pesticides (phytosanitaires) (tableau 3)

Bien que leur utilisation soit en nette régression, les herbicides atrazine (et son métabolite atrazine-déséthyle), simazine et terbutylazine sont décelables, en toutes saisons et presque à toutes les profondeurs, dans les eaux du lac, mais en très faibles teneurs. Il faut également relever qu'en France, la commercialisation de l'atrazine est interdite depuis octobre 2002. L'interdiction d'utilisation était totale dès le 30 juin 2003. Ces mesures devraient contribuer à la diminution des teneurs résiduelles dans les eaux du lac. La présence de métolachlore, herbicide de la famille des acétanilides, fréquemment associé à l'atrazine dans la culture du maïs, est toujours observée.

Toutes les concentrations mesurées sont inférieures à celles fixées pour une eau de boisson (0.1 µg/L par composé selon la Directive du Conseil des Communautés européennes - 1998 et l'Ordonnance suisse sur les substances étrangères et les composants, OSEC - 1995). Cependant, il faut rappeler que la présence de ces produits de synthèse persistants et résultant de l'activité humaine n'est pas souhaitable dans les eaux. L' Ordonnance suisse sur la protection des eaux (OEaux, 1998) rappelle cet objectif écologique pour les eaux superficielles. Il faut relever que les exigences relatives à la qualité des eaux de cette ordonnance fixent la teneur en pesticides organiques à 0.1 microgramme/L par pesticide pour les cours d'eau. Cette concentration ne représente pas ce qui est admissible ou non pour les organismes, mais se veut au moins aussi sévère que ce qui est exigé pour l'homme (eau de boisson).

Les produits cités dans l'annexe 1 n'ont pas été décelés lors des différentes analyses multi-résidus effectuées par chromatographie en phase gazeuse.

La limite de détection varie notablement selon le type de détecteur utilisé ainsi que la nature et la réponse du produit. Dans nos conditions de travail, cette limite peut être estimée à :

0.05
0.1 μg/L pour les insecticides chlorés
0.1 - 0.5 μg/L pour les fongicides
0.1 - 0.5 μg/L pour les organophosphorés
5.0 - 10.0 μg/L pour les dérivés de l'urée
0.01 - 0.02 μg/L pour les triazines.

## 6.3 NTA-EDTA (tableau 4)

Les concentrations de NTA, initialement un des produits de substitution des phosphates dans les lessives, aujourd'hui bien moins utilisé, avec les citrates ou les zéolithes, sont bien inférieures à la tolérance de 3 µg/L fixée pour les eaux de boisson en Suisse (OSEC, 1995) et nous n'observons aucune évolution significative de ces faibles teneurs depuis 1988.

En 1994, seules 1'000 tonnes de NTA ont encore été utilisées pour l'ensemble de la Suisse (ALDER *et al.*, 1997). Sur la base de l'harmonisation internationale en Europe et de l'utilisation surtout des zéolithes comme substitut des phosphates pour les produits de lavage des textiles, on peut s'attendre à ce que les teneurs en NTA diminuent.

Les concentrations en EDTA dans les eaux lémaniques sont faibles, voisines de celles observées dans d'autres lacs suisses (HOURIET, 1996) et également bien inférieures à la valeur de tolérance de 5  $\mu$ g/L et à la valeur limite fixée, pour la Suisse, à 200  $\mu$ g/L (OSEC, 1995).

Tableau 1 : Campagne du 28 avril 2003 Léman - Grand Lac (Station SHL 2)

Table 1 : Survey on April 28, 2003 lake Geneva - Grand Lac (SHL 2)

| Profondeur<br>m | Manganèse<br>μg/L | Plomb<br>μg/L | Cadmium<br>µg/L | Chrome<br>µg/L | Cuivre<br>µg/L | Mercure<br>μg/L |
|-----------------|-------------------|---------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|
| 0               | < 1               | nd *          | nd *            | nd *           | 7              | nd *            |
| 1               | < 1               | nd            | 0.02            | nd             | 4              | nd              |
| 5               | < 1               | nd            | nd              | nd             | 3              | nd              |
| 7.5             | < 1               | nd            | nd              | nd             | nd *           | nd              |
| 10              | < 1               | nd            | nd              | nd             | 2              | nd              |
| 30              | < 1               | nd            | nd              | nd             | 1              | nd              |
| 100             | < 1               | nd            | nd              | nd             | 3              | nd              |
| 305             | 33                | nd            | 0.02            | nd             | nd             | nd              |
| fond            | 50                | nd            | nd              | nd             | 3              | nd              |

<sup>\* =</sup> 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)

Tableau 2 : Campagne du 29 septembre 2003 Léman - Grand Lac (Station SHL 2)

Table 2 : Survey on September 29, 2003 lake Geneva - Grand Lac (SHL 2)

| Profondeur<br>m | Manganèse<br>µg/L | Plomb<br>μg/L | Cadmium<br>µg/L | Chrome<br>µg/L | Cuivre<br>µg/L | Mercure<br>μg/L |
|-----------------|-------------------|---------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|
| 0               | < 1               | nd *          | nd *            | 0.4            | 3              | nd *            |
| 1               | 2                 | nd            | nd              | 0.3            | 2              | nd              |
| 5               | 1                 | nd            | nd              | 0.2            | 2              | nd              |
| 7.5             | < 1               | nd            | 0.04            | 0.1            | 3              | nd              |
| 10              | < 1               | nd            | 0.02            | nd *           | 5              | nd              |
| 30              | < 1               | nd            | nd              | nd             | 3              | nd              |
| 100             | 1                 | nd            | 0.02            | nd             | 7              | nd              |
| 305             | 28                | nd            | nd              | nd             | 2              | nd              |
| fond            | 86                | nd            | nd              | nd             | 3              | nd              |

<sup>\* =</sup> non décelé (Plomb < 1  $\mu$ g/L; cadmium < 0.02  $\mu$ g/L; chrome < 0.1  $\mu$ g/L; cuivre < 1  $\mu$ g/L; mercure < 0.1  $\mu$ g/L)

Tableau 3 : Pesticides (phytosanitaires) décelés Léman - Grand Lac (Station SHL2)

Table 3 : Pesticides (crop treatments) detected lake Geneva - Grand Lac (SHL 2)

|            |          | 28 avr   | il 2003            |                   |          | 29 septer | nbre 2003          |                   |
|------------|----------|----------|--------------------|-------------------|----------|-----------|--------------------|-------------------|
| Profondeur | Simazine | Atrazine | Terbutyla-<br>zine | Métola-<br>chlore | Simazine | Atrazine  | Terbutyla-<br>zine | Métola-<br>chlore |
| m          | μg/L     | μg/L     | μg/L               | μg/L              | μg/L     | μg/L      | μg/L               | μg/L              |
| 0          | < 0.01   | < 0.01   | < 0.01             | 0.01              | 0.01     | 0.03      | 0.01               | 0.02              |
| 1          | 0.02     | 0.03     | < 0.01             | 0.02              | 0.01     | 0.03      | 0.01               | 0.01              |
| 5          | 0.01     | 0.03     | 0.01               | 0.03              | 0.01     | 0.03      | 0.01               | 0.01              |
| 7.5        | 0.01     | 0.03     | < 0.01             | 0.02              | < 0.01   | 0.04      | 0.01               | 0.02              |
| 10         | 0.01     | 0.02     | < 0.01             | 0.03              | 0.01     | 0.03      | 0.02               | 0.02              |
| 30         | 0.01     | 0.01     | < 0.01             | 0.02              | 0.01     | 0.04      | 0.02               | 0.02              |
| 100        | 0.01     | 0.02     | 0.01               | 0.03              | < 0.01   | 0.03      | 0.02               | 0.02              |
| 305        | 0.02     | 0.02     | 0.01               | 0.03              | 0.02     | 0.04      | 0.02               | 0.02              |
| fond       | 0.01     | 0.02     | < 0.01             | 0.02              | 0.01     | 0.04      | 0.02               | 0.02              |

Tableau 4 : NTA et EDTA Léman - Grand Lac (Station SHL2)

Table 4 : NTA and EDTA lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

| Profondeur | NTA           | (µg/L)            | EDTA          | (µg/L)            |
|------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|
| m          | 28 avril 2003 | 29 septembre 2003 | 28 avril 2003 | 29 septembre 2003 |
| 0          | 0.6           | 1.1               | 0.5           | 0.4               |
| 1          | 0.3           | 0.4               | 0.3           | 0.3               |
| 5          | 0.2           | 0.6               | 0.5           | 0.5               |
| 7.5        | 0.2           | 0.4               | 0.6           | 0.3               |
| 10         | 0.2           | 0.4               | 0.5           | 0.3               |
| 30         | 0.1           | 0.1               | 0.5           | 0.4               |
| 100        | 0.1           | 0.2               | 0.6           | 0.5               |
| 305        | 0.1           | 0.1               | 0.7           | 0.5               |
| fond       | 0.1           | < 0.1             | 0.6           | 0.3               |

## RÉFÉRENCES POUR L'EAU POTABLE :

|            | Manganèse<br>µg/L | Plomb<br>µg/L | Cadmium<br>µg/L | Chrome<br>µg/L | Cuivre<br>µg/L | Mercure<br>µg/L |
|------------|-------------------|---------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|
| OMS (1)    | 500               | 10            | 5               | 50             | 2'000          | 1               |
| CE (2)     | 50                | 10            | 5               | 50             | 2'000          | 1               |
| OSEC (3) C | 50                | -             | -               | -              | 1'500          | -               |
| D          | -                 | 10            | 5               | ** 20          |                | 1               |

- \*\* = chrome VI
- (1) = Organisation Mondiale de la Santé, "Guidelines for drinking water quality", Vol. I, EFP/82.39 (1984) et "Guidelines values for chemicals in drinking water" (1993).
- (2) = Directive 98/83/CE DU CONSEIL du 3 novembre 1998 Journal officiel des Communautés européennes du 05.12.1998.
- (3) = Ordonnance sur les Substances Etrangères et les Composants (1995) (Office central fédéral des imprimés et du matériel, 3003 Berne).
- C = 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).
- D = Valeur limite (concentration maximale au-delà de laquelle l'eau est jugée impropre à la consommation).

# 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<br>µg/L | Cadmium<br>µg/L | Chrome<br>µg/L | Cuivre<br>µg/L | Mercure<br>µg/L |
|-----------|---------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|
| total (4) | 10            | 0.2             | 5              | 5              | 0.03            |
| dissous   | 1             | 0.05            | 2 (5)          | 2              | 0.01            |

- (4) = 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.
- (5) = Cr (III et VI).

## 7. CONCLUSIONS

Les principales observations en 2003 sont les suivantes :

- L'hiver 2002-2003 n'a pas été assez froid et les vents pas suffisamment forts pour homogénéiser la colonne d'eau. Cela a entraîné un brassage incomplet atteignant 160 m pour l'année 2003.
- Cette réoxygénation partielle des eaux du fond par le brassage atteint 6.26 mgO<sub>2</sub>/L au maximum au début du mois de mars et 2.16 mgO<sub>2</sub>/L au minimum au mois de décembre. A partir du mois de septembre, la concentration en oxygène dissous est inférieure à 4 mgO<sub>2</sub>/L dans les eaux du fond.
- La période des "eaux claires" se distingue nettement du reste de l'année 2003, on l'observe au mois de mai avec une transparence maximale de 7.7 m.
- Le phosphore dissous est consommé en quasi-totalité dans les couches superficielles à partir de mi-avril jusqu'en décembre; pendant cette période il peut ainsi avoir un effet limitant.

## Pour les stocks:

- L'évolution du phosphore indique toujours une décroissance à caractère asymptotique depuis 1995. En 2003, le stock moyen en phosphore total a diminué de 4 % par rapport à 2002, avec une concentration moyenne de 32.8 μgP/L en phosphore total, soit 2'805 tonnes de P.
- Le stock en chlorure continue d'augmenter, cette année de manière plus importante, pour atteindre 725'580 tonnes Cl<sup>-</sup> soit 8 % de plus qu'en 2002. Cependant, on constate en début d'année 2004 des teneurs qui sont dans la tendance de ces dernières années.
- L'azote nitrique et l'azote total restent constants relativement aux années précédentes.

Le comportement asymptotique de la baisse de la teneur en phosphore observé ces dernières années, montre qu'il est difficile d'atteindre l'objectif de 20 µgP/L; il est donc important de poursuivre et d'intensifier les efforts au niveau de la lutte à la source et au niveau de l'assainissement.

# Pour les métaux et pesticides :

- 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. De même, les exigences relatives à la qualité des eaux, fixées pour les cours d'eau dans l'Ordonnance suisse sur la protection des eaux (OEaux, 1998), sont respectées pour les métaux surveillés. Seules les concentrations de cuivre observées sont quelquefois proches des exigences fixées par cette ordonnance.
- Des traces d'herbicides triaziniques et de métolachlore sont toujours décelées dans les eaux du lac. Bien
  que les concentrations demeurent faibles, et probablement sans effet toxique sur l'écosystème, il faut
  relever que leur présence n'est pas souhaitable et que toute mesure visant à en limiter l'apport est à
  encourager.

Les teneurs en NTA et EDTA des eaux du lac restent faibles et respectent les tolérances requises pour les eaux de boisson.

### **BIBLIOGRAPHIE**

- ALDER, A.C., GIGER, W. et SCHAFFNER, C. (1997): Remplacement des phosphates dans les produits détergents: vers le pire ou vers l'acceptable? EAWAG news, 42F, 6-8.
- BALVAY, G., LAINE, L. et ANNEVILLE, O. (2004): Evolution du zooplancton du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2003, 81-92.
- BLANC, P., CORVI, C. et RAPIN, F. (1994): Evolution physico-chimique des eaux du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1993, 37-64.
- BLANC, P., CORVI, C., NIREL, P., REVACLIER, R. et RAPIN, F. (1996): Evolution physico-chimique des eaux du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1995, 37-80.
- BLANC, P., PELLETIER, J.P. et MOILLE, J.P. (1993): Variabilité spatiale et temporelle des paramètres physicochimiques et biologiques dans l'eau du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1992, 113-162 et 162b-162p.
- 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.
- 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.
- DIETRICH, D. (1995): Kritische Beurteilung der ökotoxikologischen Aussagekraft von Schwermetallanalysen in Fischen aus schweizerischen Gewässern. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg., 86, 213-225.
- DIRECTIVE DU CONSEIL DES COMMUNAUTES EUROPEENNES du 3 novembre 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine (98/83/CE DU CONSEIL). Journal officiel des Communautés européennes, numéro L 330/32 du 5 décembre 1998.
- GUMY, D. et de ALENCASTRO, L.F. (2001): Origine de la pollution du Léman par le chlorure. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2000, 261-278.
- HOURIET, J.-P. (1996): NTA dans les eaux. Cahier de l'environnement, série protection des eaux, No 264 et Annexes: Données de mesure. Documents environnement, série protection des eaux, No 54, Ed. par OFEFP, Berne.
- OEaux (1998): Ordonnance du 28 octobre 1998 sur la protection des Eaux (Suisse, état au 18 novembre 2003).
- OSEC (1995): Ordonnance du 26 juin 1995 sur les Substances Etrangères et les Composants (état au 31 janvier 2000) (Suisse).
- QUETIN, P. (2004): Météorologie. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2003, 19-29.
- REICHENBACH-KLINKE, H.-H. (1966): Krankheiten und Schädigungen der Fische. Gustav Fischer Verlag, page 288.
- SIGG, L. (1992): Les métaux lourds dans les cours d'eau. Nouvelles de l'EAWAG, 32, 32-35.
- STRAWCZYNSKI, A.(2004): Analyses comparatives interlaboratoires. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2003, 155-161.

# PRODUITS PHYTOSANITAIRES RECHERCHÉS

# ANNEXE 1

## I. HERBICIDES

I. 1 Triazines :

Atrazine Propazine
Atrazine-déséthyle Simazine
Atrazine-déisopropyle Terbutryne
Cyanazine Terbutylazine

Prometryne

I. 2 Dérivés de l'urée :

Chlorbromuron Isoproturon
Chlortoluron Linuron
Diuron Monolinuron

Fenuron

l. 3 **Divers** :

Metribuzine Alachlore Bromacil Napropamide Norflurazon Dinoterbe Dinosèbe Oxadiazon Pendimethaline Ethofumesate loxynil Phenmedipham Metamitrone Propanil Metolachlor Prophame Metoxuron Trifluraline

## II. INSECTICIDES ET FONGICIDES CHLORÉS

α - Endosulfan Aldrine β - Endosulfan Captane γ - Endosulfan Chlorothalonil Endosulfan-sulfate Cyproconazol Dichlofluanide α - HCH β-HCH Dicofol γ - HCH δ - HCH Dieldrine Endrine op'DDD Folpet op'DDE Heptachlor

op'DDT Heptachlor époxyde

pp' DDE Iprodione
pp'DDD Procymidone
pp'DDT Vinclozoline

## III. INSECTICIDES PHOSPHORÉS

Azinphos - méthyle Malathion
Bromophos - méthyle Mecarbam
Chlorfenvinfos Methidathion
Chlorpyriphos-éthyle Mevinphos
Chlorpyriphos-méthyle Parathion

Diazinon Parathion-méthyle
Dichlofenthion Phosalone
Ethion Phosphamidon
Ethrimphos Pirimiphos-méthyle
Fenithrothion Quinalphos
Fenthion Tetrachlorvinphos

Formothion

## IV. DIVERS

Aldicarb Fenamiphos
Carbaryl Flusilazole
Carbofuran Methomyl
Deltamethrine Permethrine

Diéthyltoluamide (DEET)

# ANNEXE 2

# Concentrations moyennes pondérées - Léman (Grand Lac - SHL 2) Mean weighted concentrations

|       |         |        |                   |                 |         |                   |                   | 1                 |         |        |         |         |          |          |
|-------|---------|--------|-------------------|-----------------|---------|-------------------|-------------------|-------------------|---------|--------|---------|---------|----------|----------|
|       | Oxygène | P tot. | P-PO <sub>4</sub> | N tot.          | Nmintot | N-NH <sub>4</sub> | N-NO <sub>2</sub> | N-NO <sub>3</sub> | CI      | C.O.P  | Npartic | Ppartic | Transpar | Transpar |
| Année | mg/L    | μg P/L | μg P/L            | μg N/L          | μg N/L  | μg N/L            | μg N/L            | μg N/L            | mg CI/L | μg C/L | μg N/L  | μg P/L  | 12 mois  | mai-sept |
|       |         |        |                   |                 |         |                   |                   |                   |         |        |         |         | (en m)   | (en m)   |
| 1957  | 9.66    | 12.4   |                   |                 | 266     | 0.3               | 1.0               | 265               |         |        |         |         | 10.80    | 6.74     |
| 1958  | 10.32   | 11.2   |                   |                 | 297     | 0.9               | 1.7               | 294               |         |        |         |         | 9.50     | 5.20     |
| 1959  | 9.59    | 10.4   |                   |                 | 312     | 0.3               | 1.1               | 311               |         |        |         |         | 9.70     | 6.74     |
| 1960  | 9.57    | 15.4   |                   |                 | 349     | 1.2               | 1.1               | 347               |         |        |         |         | 11.10    | 10.46    |
| 1961  | 9.36    | 20.0   |                   |                 | 366     | 3.4               | 0.9               | 362               |         |        |         |         | 9.50     | 8.06     |
| 1962  | 10.33   | 20.4   |                   |                 | 392     | 9.0               | 1.5               | 381               |         |        |         |         | 9.70     | 6.80     |
| 1963  | 10.30   | 34.7   |                   |                 | 314     | 6.0               | 1.5               | 306               |         |        |         |         | 9.80     | 6.26     |
| 1964  | 10.21   | 58.8   |                   |                 | 342     | 8.8               | 1.3               | 332               |         |        |         |         | 9.50     | 7.30     |
| 1965  | 10.25   | 56.8   |                   |                 | 391     | 4.4               | 1.3               | 385               |         |        |         |         | 9.50     | 7.10     |
| 1966  | 10.44   | 43.9   |                   |                 | 362     | 4.8               | 1.4               | 356               |         |        |         |         | 8.10     | 5.74     |
| 1967  | 9.72    | 27.0   |                   |                 | 314     | 2.1               | 1.0               | 311               |         |        |         |         | 9.80     | 6.30     |
| 1968  | 9.43    | 42.5   |                   |                 | 372     | 5.4               | 0.7               | 366               |         |        |         |         | 10.30    | 6.52     |
| 1969  | 9.01    | 41.7   |                   |                 | 354     | 4.2               | 1.1               | 349               |         |        |         |         | 9.60     | 7.24     |
| 1970  | 9.69    | 80.5   | 50.5              |                 | 383     | 2.9               | 1.3               | 379               |         |        |         |         | 8.63     | 4.86     |
| 1971  | 9.69    | 67.6   | 45.6              |                 | 382     | 9.0               | 1.6               | 371               | 2.73    |        |         |         | 9.49     | 6.02     |
| 1972  | 9.25    | 71.1   | 56.3              |                 | 401     | 14.6              | 1.6               | 385               | 2.93    |        |         |         | 8.45     | 6.88     |
| 1973  | 9.36    | 80.5   | 66.1              | 574             | 412     | 13.8              | 2.4               | 396               | 3.16    |        |         |         | 9.33     | 5.48     |
| 1974  | 9.12    | 78.2   | 63.2              | 588             | 438     | 13.8              | 1.9               | 422               | 3.44    |        |         |         | 8.46     | 5.98     |
| 1975  | 8.96    | 84.0   | 66.1              | 606             | 447     | 10.6              | 1.9               | 434               | 3.66    |        |         |         | 7.30     | 3.78     |
| 1976  | 8.36    | 89.6   | 72.3              | 628             | 454     | 11.7              | 1.4               | 441               | 3.84    |        |         |         | 8.18     | 4.00     |
| 1977  | 8.31    | 89.4   | 74.0              | 608             | 468     | 11.2              | 1.8               | 455               | 4.05    |        |         |         | 7.95     | 5.18     |
| 1978  | 8.55    | 86.8   | 73.4              | 617             | 474     | 7.0               | 1.8               | 465               | 4.18    |        |         |         | 7.27     | 5.64     |
| 1979  | 8.93    | 89.5   | 74.0              | 641             | 466     | 5.5               | 1.5               | 459               | 4.35    |        |         |         | 10.42    | 5.86     |
| 1980  | 9.06    | 82.5   | 71.5              | 657             | 485     | 7.4               | 1.9               | 476               | 4.39    |        |         |         | 8.88     | 6.04     |
| 1981  | 9.32    | 82.6   | 71.6              | 688             | 507     | 8.0               | 1.1               | 498               | 4.53    |        |         |         | 8.10     | 5.80     |
| 1982  | 9.24    | 77.5   | 69.5              | 675             | 529     | 8.4               | 1.2               | 519               | 4.60    |        |         |         | 7.54     | 5.52     |
| 1983  | 9.19    | 75.4   | 67.3              | 693             | 560     | 10.2              | 1.2               | 549               | 4.70    |        |         |         | 8.23     | 6.04     |
| 1984  | 9.46    | 76.4   | 67.6              | 706             | 566     | 11.2              | 1.0               | 554               | 4.88    |        |         |         | 7.59     | 5.55     |
| 1985  | 9.54    | 73.1   | 65.0              | 734             | 571     | 14.0              | 0.6               | 556               | 5.12    |        |         |         | 8.44     | 4.94     |
| 1986  | 9.83    | 71.8   | 61.9              | 718             | 558     | 6.8               | 1.0               | 550               | 5.30    | 106.7  | 19.0    | 3.1     | 7.50     | 4.31     |
| 1987  | 9.62    | 67.7   | 58.3              | 713             | 573     | 6.6               | 0.8               | 566               | 5.40    | 72.9   | 14.0    | 2.9     | 8.00     | 4.70     |
| 1988  | 9.33    | 61.7   | 54.5              | 709             | 594     | 5.4               | 0.9               | 588               | 5.60    | 115.3  | 17.2    | 2.5     | 7.18     | 5.19     |
| 1989  | 8.65    | 58.3   | 51.7              | 712             | 605     | 5.6               | 0.9               | 598               | 5.68    | 93.3   | 14.2    | 2.1     | 8.85     | 6.22     |
| 1990  | 8.33    | 55.3   | 48.3              | 689             | 589     | 5.8               | 0.9               | 582               | 5.79    | 101.7  | 16.4    | 2.4     | 7.82     | 6.08     |
| 1991  | 8.49    | 52.3   | 45.3              | 660             | 580     | 5.9               | 0.9               | 572               | 6.00    | 91.5   | 15.1    | 2.5     | 7.79     | 5.86     |
| 1992  | 8.42    | 49.9   | 40.8              | 690             | 577     | 5.4               | 1.2               | 570               | 6.16    | 91.2   | 17.7    | 2.8     | 6.77     | 5.19     |
| 1993  | 8.29    | 47.3   | 40.4              | 656             | 581     | 3.2               | 0.9               | 577               | 6.18    | 88.1   | 13.3    | 2.3     | 8.24     | 5.42     |
| 1994  | 8.33    | 44.8   | 39.4              | 660             | 580     | 3.9               | 1.1               | 575               | 6.29    | 83.6   | 14.0    | 2.2     | 7.10     | 5.87     |
| 1995  | 8.22    | 41.3   | 37.0              | 667             | 576     | 3.5               | 1.2               | 571               | 6.47    | 90.1   | 13.1    | 2.3     | 7.47     | 5.89     |
| 1996  | 8.27    | 40.9   | 36.0              | 681             | 575     | 4.5               | 1.1               | 569               | 6.68    | 107.4  | 22.3    | 2.3     | 7.17     | 4.56     |
| 1997  | 8.41    | 37.7   | 33.7              | 673             | 568     | 4.2               | 1.1               | 563               | 6.96    | 107.4  | 23.1    | 2.2     | 8.82     | 6.73     |
| 1998  | 8.26    | 39.6   | 35.2              | 658             | 557     | 5.1               | 0.9               | 551               | 7.06    | 100.3  | 22.1    | 2.2     | 7.36     | 5.65     |
| 1999  | 8.79    | 39.2   | 34.9              | 662             | 560     | 3.3               | 0.8               | 556               | 7.19    | 92.3   | 13.2    | 2.3     | 8.99     | 5.72     |
| 2000  | 9.09    | 36.5   | 31.8              | 629             | 550     | 2.9               | 1.3               | 546               | 7.42    | 109.8  | 14.7    | 2.5     | 7.42     | 4.96     |
| 2001  | 8.48    | 34.2   | 28.8              | 680             | 570     | 1.8               | 0.8               | 567               | 7.60    | 94.1   | 12.9    | 2.3     | 6.29     | 5.06     |
| 2002  | 8.45    | 34.0   | 29.5              | 659             | 547     | 2.1               | 0.8               | 544               | 7.85    | 97.1   | 11.2    | 2.0     | 6.78     | 4.28     |
| 2003  | 8.60    | 32.8   | 27.7              | 634             | 579     | 2.4               | 1.3               | 575               | 8.47    | 93.8   | 14.1    | 2.3     | 6.7      | 4.86     |
| _000  | 0.00    | 02.0   | 21.1              | UU <del>T</del> | 515     |                   | 1.3               | 575               | 0.77    | 55.0   | 1-7.1   | 2.3     | 0.7      | 1 7.00   |

# Remarques :

Les méthodes de calcul pour les concentrations moyennes pondérées et les stocks, ainsi que les volumes d'eau des différentes couches du Léman sont indiqués dans BLANC et *al.* (1996).

# Stocks en tonnes - Léman (Grand Lac - SHL 2) Total content in tons

| Année | Oxygène | P tot. | P-PO <sub>4</sub> | N tot. | Nmintot | N-NH <sub>4</sub> | N-NO <sub>2</sub> | N-NO <sub>3</sub> | CI      | C.O.P. | P partic | N partic |
|-------|---------|--------|-------------------|--------|---------|-------------------|-------------------|-------------------|---------|--------|----------|----------|
|       | tonnes  | tonnes | tonnes            | tonnes | tonnes  | tonnes            | tonnes            | tonnes            | tonnes  | tonnes | tonnes   | tonnes   |
| 1957  | 827'900 | 1'150  |                   |        | 22'824  | 25                | 109               | 22'690            |         |        |          |          |
| 1958  | 883'900 | 960    |                   |        | 25'370  | 75                | 145               | 25'150            |         |        |          |          |
| 1959  | 822'000 | 890    |                   |        | 26'733  | 30                | 93                | 26'610            |         |        |          |          |
| 1960  | 819'800 | 1'320  |                   |        | 29'931  | 105               | 96                | 29'730            |         |        |          |          |
| 1961  | 802'000 | 1'720  |                   |        | 31'370  | 290               | 80                | 31'000            |         |        |          |          |
| 1962  | 885'200 | 1'750  |                   |        | 37'527  | 770               | 127               | 36'630            |         |        |          |          |
| 1963  | 883'100 | 2'970  |                   |        | 26'839  | 510               | 129               | 26'200            |         |        |          |          |
| 1964  | 874'900 | 5'050  |                   |        | 29'275  | 750               | 115               | 28'410            |         |        |          |          |
| 1965  | 878'500 | 4'870  |                   |        | 33'459  | 375               | 114               | 32'970            |         |        |          |          |
|       |         |        |                   |        |         |                   |                   |                   |         |        |          |          |
| 1966  | 894'400 | 3'760  |                   |        | 31'071  | 415               | 116               | 30'540            |         |        |          |          |
| 1967  | 823'700 | 2'320  |                   |        | 26'887  | 180               | 87                | 26'620            |         |        |          |          |
| 1968  | 808'300 | 3'640  |                   |        | 31'888  | 465               | 63                | 31'360            |         |        |          |          |
| 1969  | 772'100 | 3'580  |                   |        | 30'403  | 360               | 93                | 29'950            |         |        |          |          |
| 1970  | 830'600 | 6'920  |                   |        | 32'804  | 245               | 109               | 32'450            |         |        |          |          |
| 1971  | 830'500 | 5'790  | 3'910             |        | 32'668  | 770               | 138               | 31'760            | 237'000 |        |          |          |
| 1972  | 792'400 | 6'090  | 4'830             |        | 34'426  | 1'255             | 141               | 33'030            | 251'000 |        |          |          |
| 1973  | 801'900 | 6'900  | 5'660             | 49'180 | 35'306  | 1'185             | 201               | 33'920            | 271'000 |        |          |          |
| 1974  | 781'700 | 6'700  | 5'420             | 50'350 | 37'544  | 1'180             | 164               | 36'200            | 295'000 |        |          |          |
| 1975  | 767'500 | 7'200  | 5'670             | 51'970 | 38'292  | 905               | 167               | 37'220            | 314'000 |        |          |          |
| 1976  | 716'800 | 7'670  | 6'200             | 53'820 | 38'916  | 1'000             | 116               | 37'800            | 329'000 |        |          |          |
| 1977  | 712'100 | 7'660  | 6'340             | 52'140 | 40'115  | 960               | 155               | 39'000            | 347'000 |        |          |          |
| 1978  | 732'300 | 7'440  | 6'290             | 52'860 | 40'558  | 595               | 153               | 39'810            | 358'000 |        |          |          |
| 1979  | 765'500 | 7'670  | 6'340             | 54'970 | 39'929  | 470               | 129               | 39'330            | 372'000 |        |          |          |
| 1980  | 776'200 | 7'070  | 6'130             | 56'270 | 41'574  | 635               | 159               | 40'780            | 376'000 |        |          |          |
| 1981  | 798'600 | 7'080  | 6'130             | 58'970 | 43'490  | 680               | 90                | 42'720            | 388'000 |        |          |          |
| 1982  | 791'600 | 6'640  | 5'950             | 57'830 | 45'274  | 720               | 104               | 44'450            | 394'000 |        |          |          |
| 1983  | 787'600 | 6'460  | 5'760             | 59'360 | 48'000  | 875               | 105               | 47'020            | 403'000 |        |          |          |
| 1984  | 810'200 | 6'550  | 5'790             | 60'500 | 48'488  | 965               | 83                | 47'440            | 418'000 |        |          |          |
| 1985  | 817'600 | 6'260  | 5'570             | 62'970 | 48'855  | 1'205             | 50                | 47'600            | 439'000 |        |          |          |
| 1986  | 842'600 | 6'150  | 5'300             | 61'500 | 47'812  | 580               | 72                | 47'160            | 454'000 | 9'138  | 262      | 1'630    |
| 1987  | 824'200 | 5'800  | 5'000             | 61'130 | 49'169  | 570               | 69                | 48'530            | 462'000 | 6'247  | 249      | 1'203    |
| 1988  | 799'940 | 5'290  | 4'665             | 60'750 | 50'882  | 458               | 74                | 50'350            | 480'200 | 9'882  | 217      | 1'472    |
| 1989  | 741'520 | 4'995  | 4'430             | 61'020 | 51'776  | 482               | 74                | 51'220            | 486'300 | 7'993  | 179      | 1'220    |
| 1990  | 714'200 | 4'740  | 4'145             | 59'000 | 50'460  | 493               | 77                | 49'890            | 496'200 | 8'715  | 209      | 1'400    |
| 1991  | 727'600 | 4'480  | 3'880             | 56'540 | 49'670  | 509               | 81                | 49'080            | 514'000 | 7'840  | 218      | 1'292    |
| 1992  | 721'550 | 4'275  | 3'495             | 59'150 | 49'389  | 464               | 105               | 48'820            | 528'300 | 7'811  | 241      | 1'515    |
| 1993  | 710'190 | 4'050  | 3'460             | 56'210 | 49'814  | 274               | 80                | 49'460            | 529'700 | 7'548  | 197      | 1'142    |
| 1994  | 714'185 | 3'835  | 3'380             | 56'550 | 49'701  | 334               | 92                | 49'275            | 538'930 | 7'166  | 185      | 1'203    |
| 1995  | 704'075 | 3'535  | 3'170             | 57'140 | 49'348  | 302               | 101               | 48'945            | 554'670 | 7'722  | 193      | 1'123    |
| 1996  | 708'680 | 3'505  | 3'085             | 58'350 | 49'205  | 382               | 93                | 48'730            | 572'410 | 9'205  | 198      | 1'913    |
| 1997  | 721'005 | 3'230  | 2'885             | 57'690 | 48'701  | 357               | 94                | 48'250            | 596'140 | 9'207  | 185      | 1'981    |
| 1998  | 707'750 | 3'395  | 3'020             | 56'430 | 47'764  | 434               | 80                | 47'250            | 604'630 | 8'596  | 186      | 1'897    |
| 1999  | 753'185 | 3'360  | 2'990             | 56'780 | 48'002  | 283               | 64                | 47'655            | 615'910 | 7'905  | 193      | 1'134    |
| 2000  | 778'880 | 3'130  | 2'725             | 53'910 | 47'815  | 250               | 115               | 47'450            | 635'650 | 9'413  | 212      | 1'263    |
| 2001  | 726'525 | 2'930  | 2'465             | 58'270 | 48'818  | 152               | 66                | 48'600            | 651'600 | 8'065  | 197      | 1'105    |
| 2002  | 724'005 | 2'915  | 2'530             | 56'460 | 46'875  | 178               | 67                | 46'630            | 672'320 | 8'322  | 172      | 962      |
| 2003  | 737'325 | 2'805  | 2'370             | 54'310 | 49'550  | 206               | 114               | 49'230            | 725'580 | 8'034  | 200      | 1'205    |
| 2000  | 101 020 | 2000   | 2010              | 07010  | +0 000  | 200               | 117               | 70 200            | 120000  | 0 004  | 200      | 1200     |

# DYNAMIQUE DE LA PRODUCTION PHYTOPLANCTONIQUE ET DE LA BIOMASSE CHLOROPHYLLIENNE DANS LE LÉMAN

# DYNAMICS OF PHYTOPLANKTON PRODUCTION AND CHLOROPHYLL BIOMASS IN LAKE GENEVA

Campagne 2003

PAR

# **Christophe LEBOULANGER**

avec la collaboration technique de

# Pascal CHIFFLET, Jean-Christophe HUSTACHE et Jean-Paul MOILLE

STATION D'HYDROBIOLOGIE LACUSTRE (INRA-UMR/CARRTEL), BP 511, FR - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex

## RÉSUMÉ

Durant l'année 2003, vingt campagnes de mesures du stock et de l'activité phytoplanctonique ont été réalisées au point SHL2. La production annuelle nette a été estimée à 272 g de carbone fixé par  $m^2$ , en augmentation légère par rapport à l'année 2002 et comparable aux estimations de la production planctonique du lac faites durant la décennie des années 90. Les événements remarquables de cette année sont : 1) une forte activité de production principalement en mars et avril, suivie d'une seconde poussée en mai, sans développement marqué en automne, 2) la persistance d'une biomasse phytoplanctonique élevée, liée à une production primaire également forte, pendant les mois d'été, et 3) la répétition des observations des années 2001 et 2002 concernant le maintien d'une biomasse et d'une production significatives pendant les mois d'hiver. La concentration moyenne pondérée en chlorophylle a dans la couche 0-10 m est moins importante qu'en 2002, avec 5.8 mg chla/m³, avec une phase d'eaux claires encore une fois peu ou pas marquée par un accroissement de la transparence. La productivité annuelle est d'ampleur moyenne, dans la continuité de la décroissance observée au cours des années 1999-2000 et comparable à la période 1987-1993.

# ABSTRACT

During the year 2003, twenty surveys were conducted at the SHL2 station to measure the phytoplankton stock and activity. The net annual production was estimated to be around 272 g of Carbon fixed per square meter, which is slightly up from 2002, and close to the estimates made during the 1990s. Noticeable events for 2003 were 1) high production rates especially in March and April, with a second peak in May but with no noticeable rise in the autumn, 2) a significant and persistent phytoplankton biomass, linked to a high primary production during the summer months, and 3) the sustained biomass and production during the winter, following the same pattern as recorded in 2001 and 2002. The average weighted chlorophyll a concentration in the 0-10 m layer was lower than in 2002, about 5.8 mg chla/m³, and the clear water period was once again only slightly evident from the water transparency. Finally, the relatively average annual productivity is consistent with the decrease observed during the 1999-2000 period, and comparable to that during the years 1987-1993.

## 1. INTRODUCTION

Les efforts consentis pour améliorer la qualité des eaux du Léman ont eu pour conséquence principale la diminution de la concentration en phosphore dans le lac, dans les limites des modèles prédictifs. Mais les conséquences fonctionnelles sur l'écosystème pélagique n'ont jusqu'alors pas montré de tendance claire, notamment en ce qui concerne la dynamique annuelle de l'activité et de la biomasse phytoplanctoniques. C'est pourtant ce groupe d'organismes, par son activité photosynthétique, qui va alimenter le fonctionnement du réseau trophique pélagique et éventuellement être à l'origine de nuisances (proliférations d'algues filamenteuses). Il est donc important d'en comprendre les mécanismes.

## 2. MÉTHODES

Au cours de l'année 2003, les 20 campagnes de mesures programmées des paramètres de production et biomasse phytoplanctoniques ont été réalisées sur la station de référence SHL2 selon le même protocole depuis plus de quinze années. Comme lors des campagnes précédentes, ainsi qu'il est rappelé dans LEBOULANGER (2002), la méthode de STEEMAN-NIELSEN (1952) employant le <sup>14</sup>C comme traceur a été utilisée pour évaluer in situ l'activité photosynthétique. Le carbone radioactif est incorporé de façon proportionnelle au carbone inorganique dissous présent dans l'eau et la quantité retrouvée ensuite sous forme organique dans le phytoplancton est donc quantitativement reliée à l'activité photosynthétique. Les neuf profondeurs échantillonnées s'échelonnent de zéro à trente mètres dans la couche euphotique, où la lumière est suffisante pour permettre la photosynthèse. Chaque échantillon est fractionné en trois aliquotes, distribués dans trois flacons, enrichis en carbonate radioactif puis ré-immergé à la profondeur de prélèvement où l'incubation est réalisée pendant une durée égale au tiers médian de la photopériode.

Le phytoplancton dont la matière organique est devenue radioactive est ensuite récupéré par filtration sur membrane en polycarbonate de 0.8 µm de porosité, seuil où la plupart des cellules autotrophes sont retenues. Ce filtre est ensuite traité au laboratoire en vue d'une mesure de cette radioactivité. A l'aide des valeurs obtenues et de la concentration en carbone inorganique dissous dans le milieu lors de l'expérimentation, il est alors possible de calculer la quantité de carbone effectivement incorporée par les organismes photosynthétiques. Une extrapolation à la production journalière globale est ensuite possible en multipliant le résultat des incubations par 2.22, coefficient moyen déterminé expérimentalement (PELLETIER,1983).

La mesure de la concentration en chlorophylle a à chacune des neuf profondeurs se fait sur les mêmes prélèvements d'eau que ceux servant à la mesure d'activité photosynthétique. L'eau est filtrée sur membrane en fibre de verre (Whatman GF/C), puis les pigments sont extraits sur la matière retenue, dans un mélange acétone/eau (90/10 v/v). Le calcul de la concentration en chlorophylle a est ensuite effectué à partir d'une analyse spectrophotométrique selon la méthode de STRICKLAND et PARSONS (1968), basée sur les caractéristiques du spectre d'absorbance de la chlorophylle a.

# 3. RÉSULTATS

## 3.1 Répartitions verticales

Les profils 0-30 m obtenus pour répartition de la biomasse phytoplanctonique (exprimée en mg chla/m³) et de la production primaire (en mg C assimilé/m³ durant la période d'incubation) sont représentés sur la figure 1. Les paramètres calculés à partir de ces données sont récapitulés dans le tableau 1.

Au début de l'année, la biomasse phytoplanctonique est faible et homogène de 0 à 30 m, ce qui est caractéristique en hiver et n'augmente pas significativement avant le 28 avril. Cependant, dès le 24 mars on observe une croissance du phytoplancton dans les 10 premiers mètres, avec plus de 15 mg chla/m³ à 7.5 m de profondeur et 218 mg C fixé par litre et par incubation à 2 mètres. La biomasse chlorophyllienne croît peu durant un mois pour montrer fin avril une nette augmentation.

La production primaire pré-estivale culmine le 28 avril, la prolifération printanière est inhabituellement peu intense, avec une biomasse de 18 mg chla/m³ et 320 mg C fixé par litre et par incubation à 2 mètres. La phase des eaux claires qui suit est peu marquée et la transparence ne dépasse 5 m que le 12 mai suivant, sans se reproduire le 27 du même mois. On ne peut pas alors parler véritablement de phase claire et l'arrivée de la belle saison ne semble pas provoquer d'augmentation de la biomasse très forte par la suite. La production primaire dans son ensemble suit le même processus : de mai à début août, la chlorophylle présente un pic à une profondeur variable entre 5 et 10 m, avec une allure similaire pour la production.

Les mois d'automne ne présentent également pas d'augmentation brusque des paramètres de biomasse et de production, celle-ci reste significative avec une légère décroissance jusqu'en décembre suivant. Cette évolution diffère fortement de celle des années précédentes, avec une disparition patente de la succession de deux phases de croissance entrecoupées d'eaux claires, habituelle sur le Léman (e.g. décrite dans ANNEVILLE, 2001), comme observé en 2002 (LEBOULANGER, 2003).

# 3.2 Variations saisonnières

Les trois premiers mois de l'année montrent une biomasse élevée pour cette saison, en tout point comparable à celle habituellement relevée au cours du premier pic printanier, mais avec une activité inférieure (qui reste cependant élevée et contribue significativement à la production totale de l'année 2003). La biomasse totale 0-30 m montre de fortes fluctuations de janvier à fin juin (de 100 à 240 mg chla/m² pour les pics) et chute ensuite en juillet et août. La phase printanière (biomasse et production élevées) est peu marquée, avec un maximum de biomasse exprimée en chlorophylle a de 227 mg/m² dans la couche 0-30 m fin avril, restant apparemment stable jusqu'au début du mois de juin. La production primaire totale par unité de surface au point SHL2 suit de façon très fidèle cette évolution. La poussée printanière est suivie d'une phase claire peu marquée en juin puis d'une nouvelle et forte augmentation en juillet.

Tableau 1 : Principaux paramètres de la production primaire. ∑A : production primaire totale lors de l'incubation ; PPj : production primaire journalière calculée ; Amax : production maximale lors de l'incubation, correspondant à la biomasse Chl Amax ; Tds : profondeur de disparition du disque de Secchi

Table 1: Main primary production parameters.  $\Sigma A$ : total primary production during the incubation period; PPj: calculated daily production; Amax: maximal production during the incubation period, corresponding to ChI Amax biomass; Tds: Secchi depth

| DATE       | ∑ A                     | PPj      | Amax                    | Chl Amax | Chl 0-10 | Chl 0-30 | Tds  |
|------------|-------------------------|----------|-------------------------|----------|----------|----------|------|
|            | mgC/m <sup>2</sup> .inc | mgC/m².j | mgC/m <sup>3</sup> .inc | mg/m³    | mg/m²    | mg/m²    | m    |
| 20/01/2003 | 101                     | 223      | 9                       | 1.33     | 13.4     | 38.8     | 11.4 |
| 20/02/2003 | 118                     | 262      | 7                       | 0.87     | 8.7      | 26.9     | 14.0 |
| 10/03/2003 | 629                     | 1'396    | 62                      | 5.90     | 53.4     | 103.2    | 5.5  |
| 24/03/2003 | 1'211                   | 2'689    | 218                     | 15.00    | 143.3    | 237.8    | 2.7  |
| 14/04/2003 | 542                     | 1'202    | 71                      | 3.50     | 29.6     | 78.6     | 6.3  |
| 28/04/2003 | 1'535                   | 3'407    | 320                     | 18.80    | 147.6    | 227.1    | 2.5  |
| 12/05/2003 | 758                     | 1'682    | 95                      | 2.48     | 29.4     | 63.2     | 7.7  |
| 27/05/2003 | 1'027                   | 2'280    | 165                     | 6.90     | 54.4     | 71.6     | 4.3  |
| 10/06/2003 | 1'135                   | 2'519    | 187                     | 38.90    | 156.6    | 211.1    | 5.0  |
| 23/06/2003 | 904                     | 2'008    | 103                     | 9.60     | 70.9     | 135.5    | 4.9  |
| 07/07/2003 | 913                     | 2'027    | 93                      | 4.60     | 47.9     | 92.3     | 4.4  |
| 22/07/2003 | 1'018                   | 2'260    | 108                     | 5.60     | 88.6     | 154.1    | 4.5  |
| 04/08/2003 | 860                     | 1'909    | 98                      | 12.60    | 61.5     | 120.2    | 4.3  |
| 20/08/2003 | 107                     | 237      | 18                      | 4.40     | 45.2     | 76.2     | 2.7  |
| 15/09/2003 | 259                     | 575      | 36                      | 2.60     | 28.5     | 57.3     | 4.8  |
| 29/09/2003 | 383                     | 851      | 37                      | 3.20     | 26.2     | 52.4     | 6.0  |
| 13/10/2003 | 390                     | 866      | 46                      | 3.30     | 34.9     | 77.9     | 6.4  |
| 03/11/2003 | 215                     | 477      | 44                      | 7.50     | 78.4     | 231.4    | 6.0  |
| 18/11/2003 | 490                     | 1'089    | 57                      | 9.70     | 95.0     | 188.8    | 7.4  |
| 09/12/2003 | 265                     | 588      | 66                      | 3.80     | 35.2     | 61.7     | 9.2  |

Tableau 2 : Évolution à long terme de la production primaire nette annuelle (PPAN en gC/m².an) et de la concentration annuelle moyenne en chlorophylle *a* (en mg/m³) intégrée sur 0-10 m.

Table 2 : Long-term change in the net annual primary production (NAPP in  $gC/m^2$ .y and integrated mean annual concentration of chlorophyll a (in  $mg/m^3$ ) in the 0-10 m layer

| Année                 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| PPAN                  | 299  | 295  | 293  | 258  | 359  | 268  | 295  | 223  | 205  | 282  | 249  | 272  | 210  | 218  | 381  | 232  | 272  |
| chl <i>a</i><br>0-10m | 6.1  | 5.8  | 4.4  | 4.8  | 5.6  | 5.1  | 5.0  | 5.2  | 5.5  | 6.7  | 5.8  | 5.1  | 5.2  | 6.3  | 6.9  | 7.5  | 5.8  |

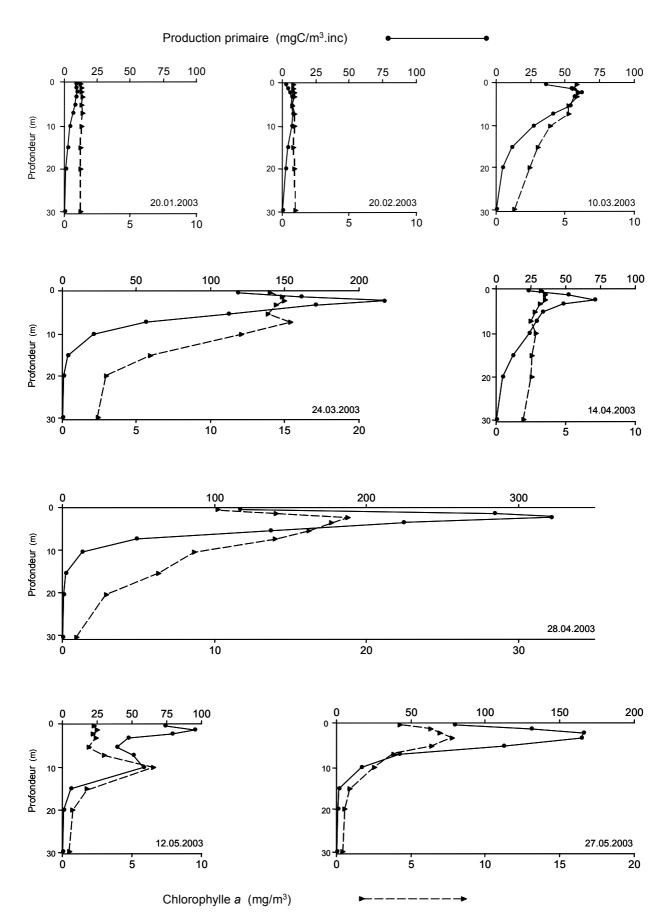


Figure 1 : Profils verticaux de la production primaire (traits pleins, échelles supérieures en mgC fixé par m³ par incubation) et de la biomasse exprimée en chlorophylle *a* (traits pointillés, échelle inférieure en mgchl*a* par m³) au point SHL2 du 20 janvier au 27 mai 2003

Figure 1: Vertical profiles of the primary production (unbroken line, upper scale in mgC fixed per m³ per incubation) and phytoplankton biomass expressed as chlorophyll a (dotted line, lower scale in mgchla per m³) at the SHL2 station from January 20, to May 27, 2003

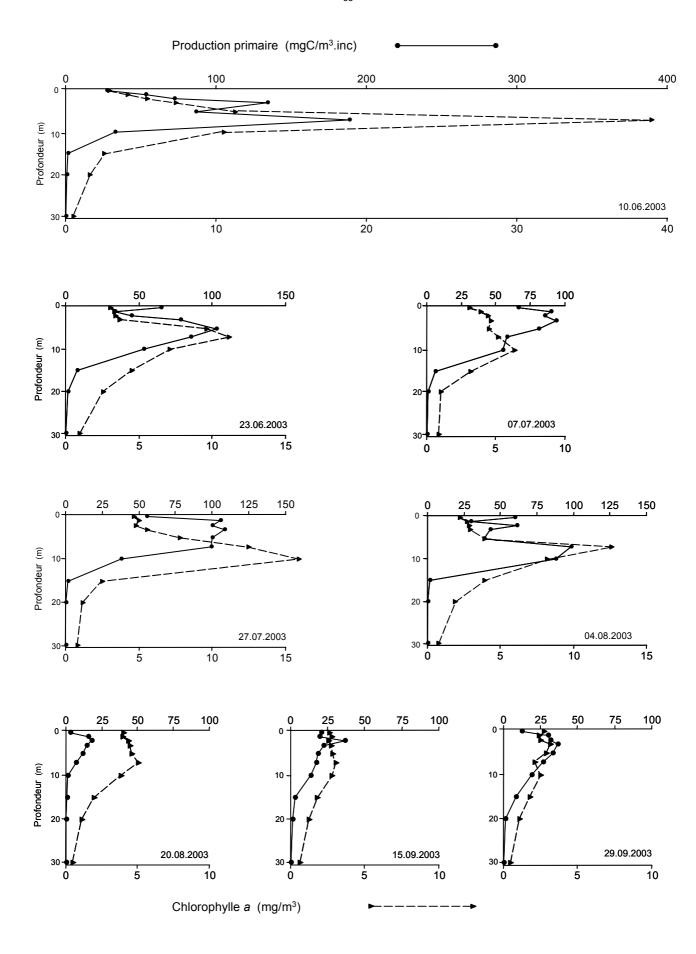


Figure 1 (suite) : Profils verticaux de la production primaire et de la biomasse exprimée en chlorophylle a au point SHL2 du 10 juin au 29 septembre 2003 (mêmes unités)

Figure 1 (continued): Vertical profiles of primary production and biomass at SHL2 station from June 10 to September 29, 2003 (same units as above)

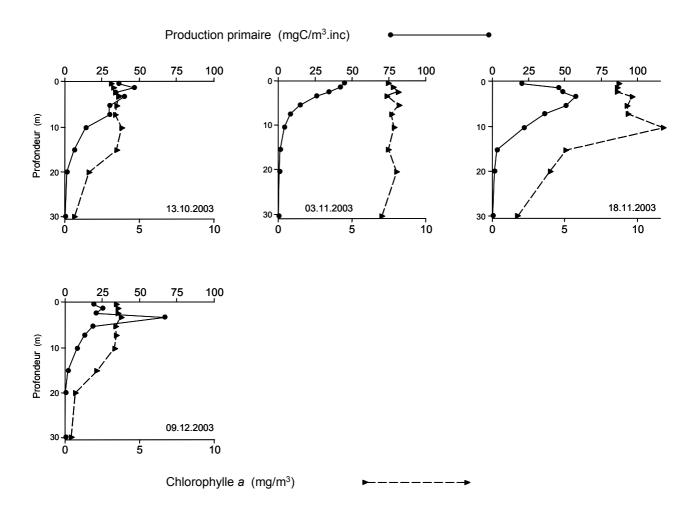


Figure 1 (suite et fin) : Profils verticaux de la production primaire et de la biomasse exprimée en chlorophylle *a* au point SHL2 du 13 octobre au 9 décembre 2003 (mêmes unités)

Figure 1 (end): Vertical profiles of primary production and biomass at SHL2 station from October 13 to December 9, 2003 (same units as above)

Les mois d'automne et de début d'hiver sont encore productifs avec une répartition présentant un pic de biomasse, sauf début novembre, signe d'un développement actif du phytoplancton dans la couche euphotique.

La répartition de la biomasse phytoplanctonique, exprimée en mg chla/m², présente également cette année une évolution particulière : lors des pics de biomasse du printemps et de la fin de l'été, la quantité de chlorophylle présente dans la couche 10-30 m est supérieure à celle présente dans la couche supérieure (figure 3). Le phytoplancton se répartit plus en profondeur dans la colonne d'eau.

La transparence, indiquée par la profondeur de disparition du disque de Secchi, est également étroitement liée, de façon inverse, à la biomasse chlorophyllienne (figure 4). Elle est maximale en février et octobre, et minimale en juillet-août

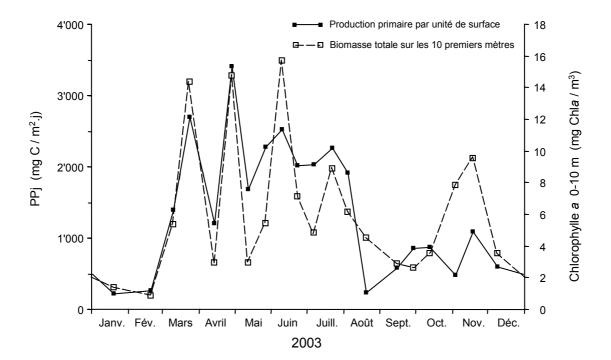


Figure 2 : Évolutions comparées de la production primaire par unité de surface (traits pleins, carrés noirs) et de la biomasse totale intégrée sur les dix premiers mètres (traits pointillés, carrés blancs) au cours de l'année 2003 au point SHL2

Figure 2: Comparative changes in primary production per surface unit (unbroken line, black squares) and integrated biomass over the top ten meters (dotted line, open squares) during the year 2003 at the SHL2 station

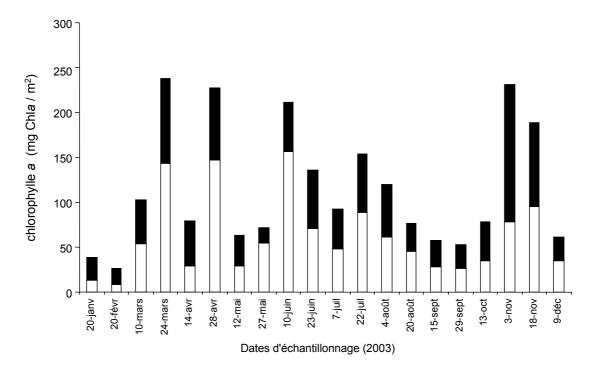


Figure 3 : Évolution des biomasses chlorophylliennes intégrées, au cours de l'année 2003, dans les dix premiers mètres (barres inférieures vides) et dans la couche 10-30 m (barres supérieures pleines) au point SHL2

Figure 3 : Dynamics of the integrated chlorophyll biomass, during the 2003 survey, in the top ten meters (lower open bars) and in the 10-30 m layer (upper filled bars) at the SHL2 station

## Dates d'échantillonnage (2003)

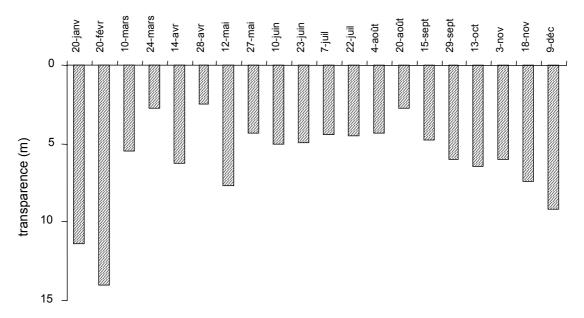


Figure 4 : Évolution de la transparence, mesurée comme profondeur de disparition du disque de Secchi, au cours de l'année 2003 au point SHL2

Figure 4 : Changes in the transparency, expressed as the Secchi depth, during the 2003 survey at the SHL2 station

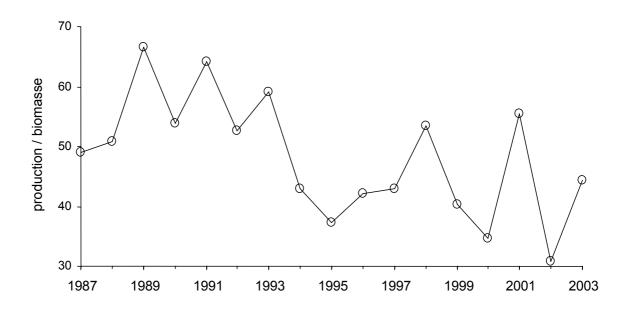


Figure 5 : Évolution au cours des quinze dernières années de la productivité pélagique, exprimée par le rapport production annuelle sur biomasse chlorophyllienne moyenne dans la couche 0-10 m au point SHL2

Figure 5 : Changes over fifteen years in the pelagic production, expressed as the ratio of the annual production in the 0-10 m layer to the mean chlorophyll biomass, at the SHL2 station

### 3.3 Production annuelle

Le calcul de la production annuelle nette cumulée donne une valeur assez faible (272 gC/m².an), soit l'équivalent de 71 % de celle calculée pour l'année 2001 (LEBOULANGER, 2002) et 117 % de la production mesurée en 2002 (LEBOULANGER, 2003). L'absence de tout regain de biomasse phytoplanctonique après la phase printanière relativement peu productive explique le faible taux annuel. Encore une fois les mois hivernaux ne peuvent être considérés comme une période improductive, ce qui pourrait être mis en relation avec des changements environnementaux à grande échelle. Le rapport production totale annuelle sur biomasse chlorophyllienne moyenne 0-10 m (P/C), qui donne une indication sur la productivité des communautés phytoplanctoniques, est faible, dans la continuité de l'apparente décroissance observée entre 1989 et 2000 (tableau 2, figure 5). Cette productivité est égale à environ 46 grammes de carbone fixés par an par milligramme de chlorophylle a présente dans la couche 0-10 m. Cette décroissance est susceptible d'être corrélée à l'abondance des formes filamenteuses, puisque celles-ci ont en général un taux d'activité métabolique inférieur à celui des espèces plus petites.

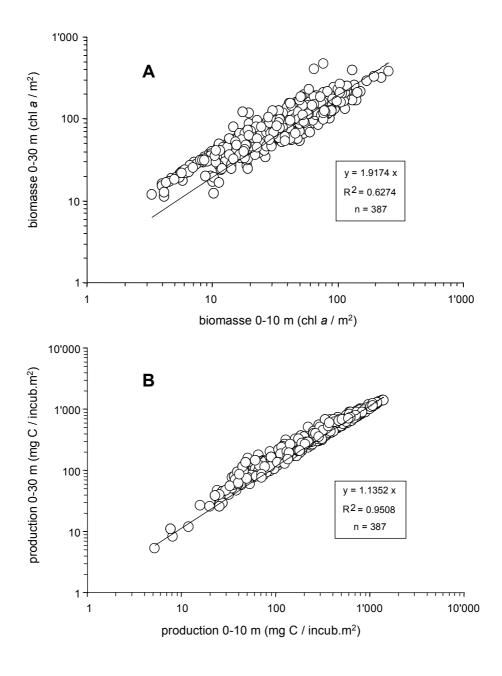


Figure 6 : Relation, au cours des vingt dernières années, entre la biomasse phytoplanctonique pélagique de la couche 0-30 et 0-10 m (A). Relation, au cours des vingt dernières années, entre la production phytoplanctonique pélagique de la couche 0-30 et 0-10 m (B).

Figure 6: Relationship between the pelagic phytoplankton biomass in the 0-30 and 0-10 m layers over the past twenty years (A). Relationship between the pelagic phytoplankton production in the 0-30 and 0-10 m layers over the past twenty years (B)

### 4. CONCLUSIONS

L'année 2003 est encore une année atypique, d'une part car la dynamique de l'activité et du stock de phytoplancton ne ressemble pas à celle observée l'année précédente, mais aussi à cause de l'absence de phase de prolifération automnale. La biomasse est cependant parfois très productive. Encore une fois, le phytoplancton colonise les couches d'eau les plus profondes, montrant des abondances significatives audelà de 10 m de profondeur. Il semble donc que le fonctionnement global du lac soit soumis à une évolution à long terme liée à la diminution des stocks de phosphore, mais reste très sensible à toute perturbation environnementale, qu'elle qu'en soit l'origine. Cependant les variations saisonnières observées ne doivent pas occulter certaines observations sur le long terme, visant à renforcer l'idée de stabilité du système.

En se référant à maintenant vingt années de suivi continu de la production primaire et du stock de phytoplancton dans la zone pélagique du Léman au point SHL2, on s'aperçoit que cet écosystème représente une assez grande stabilité concernant les producteurs primaires. En effet, malgré l'enfoncement constaté de certains peuplements de phytoplancton, au fur et à mesure de l'accroissement de la transparence, le mode de fonctionnement de la zone euphotique est remarquablement stable. La relation entre chlorophylle a totale (intégrée sur 0-30 m) et subsurface (intégrée sur 0-10 m) est relativement lâche (figure 6a), mais la part de chaque strate dans la production du système reste constante (figure 6b). Il faut donc s'attendre dans le futur à un tel phénomène de résilience, puisque l'augmentation d'un stock (biomasse) semble compensée par une diminution de sa productivité et vice-versa.

## **BIBLIOGRAPHIE**

- ANNEVILLE, O. (2001) : Diagnostic sur l'état de santé écologique du Léman par l'analyse des séries chronologiques du phytoplancton. Thèse Université Claude Bernard, Lyon I, 305 p.
- LEBOULANGER, C. (2002) : Évolution de la production phytoplanctonique dans le Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2001, 61-69.
- LEBOULANGER, C. (2003) : Évolution de la production phytoplanctonique dans le Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2002, 59-67.
- PELLETIER, J.P. (1983): Mesure de la production primaire en milieu aquatique ; problèmes méthodologiques et éléments d'interprétation. Rev. Fr. Sci. Eau, 2, 339-366.
- STEEMANN-NIELSEN, E. (1952): The use of radioactive carbon (<sup>14</sup>C) for measuring organic production in the sea. J. Cons. Int. Exploit. Mer, 18, 117-140.
- STRICKLAND, J.D.H. et PARSONS, T.R. (1968): A practical handbook of seawater analysis. Bull. Fish. Res. Board Canada, 167, 311 p.

# ÉVOLUTION DU PHYTOPLANCTON DU LÉMAN

# CHANGES IN THE PHYTOPLANKTON OF LAKE GENEVA

# Campagne 2003

PAR

# Jean-Claude DRUART, Christophe LEBOULANGER et Anne ROLLAND

STATION D'HYDROBIOLOGIE LACUSTRE (INRA-UMR/CARRTEL), BP 511, FR - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex

## RÉSUMÉ

20 campagnes de prélèvements ont été effectuées en 2003 (contre 21 en 2002) dans la couche 0-20m.

La richesse taxonomique du phytoplancton a fortement augmenté cette année (140 taxons). Elle est comparable à celle observée dans les années 1993 et 1995.

La biomasse annuelle moyenne a régressé pour atteindre 1'727 mg/m³. Il faut remonter à 1995 pour enregistrer des valeurs aussi faibles.

Toutes les autres biomasses (printanière, estivale) sont également en forte diminution.

La part du nanoplancton est en constante augmentation dans le Léman depuis 2000, malgré le développement important cette année de la chlorophycée filamenteuse Oedogonium sp. en automne.

### **ABSTRACT**

20 sampling campaigns of the 0-20 m layer were carried out during 2003 (versus 21 in 2002).

There has been a marked increase in the taxonomic diversity of the phytoplankton this year (140 taxa). This is similar to what was observed in the years 1993 and 1995.

The mean annual biomass declined to 1,727 mg/m<sup>3</sup>. A value as low as this was last recorded in 1995.

All the other biomass data (springtime and summer) also fell sharply.

The proportion of nanoplankton has been increasing steadily in Lake Geneva since 2000, despite the considerable development this year of the filamentous Chlorophyta <u>Oedogonium</u> sp. in the Autumn.

## 1. INTRODUCTION

L'évolution du phytoplancton a fait l'objet d'un suivi durant l'année 2003. Comme les années précédentes, ce dernier a été réalisé à la station SHL2 au centre du Grand Lac entre Evian et Lausanne (Grand Lac coord. CH: 534.70 / 144.95). Cette étude comporte l'analyse de l'évolution qualitative et quantitative des peuplements phytoplanctoniques. Cependant, la biomasse chlorophyllienne et la production primaire (LEBOULANGER, 2004), étudiées parallèlement à la biomasse phytoplanctonique, font l'objet de chapitres séparés.

## 2. MÉTHODES

Le phytoplancton étudié a été récolté dans les 20 premiers mètres de la colonne d'eau à l'aide d'une cloche intégratrice d'eau brute. Ces prélèvements ont été effectués au cours de deux campagnes par mois, à l'exception de la période hivernale (de décembre à février) et du mois d'octobre où l'échantillonnage était mensuel. Ainsi, 20 campagnes ont été menées en 2003 contre 21 en 2002.

Les échantillons d'eau brute sont fixés au lugol, puis chaque sous-échantillon d'un volume de 50 ml est mis à sédimenter dans des chambres de sédimentation. Les examens qualitatif et quantitatif se font au microscope inversé suivant la technique d'UTERMÖHL (1958). La biomasse est calculée par addition des biovolumes cellulaires et exprimée en poids de matière fraîche par mètre cube d'eau.

Pour la première fois cette année, les résultats présentés dans ce rapport portent uniquement sur la station du Grand Lac (SHL2). Ceux du Petit Lac ne seront exploités que tous les 5 ans.

## 3. RÉSULTATS

## 3.1 Variations saisonnières et évolution interannuelle de la biomasse

Comme chaque année, on peut distinguer plusieurs phases dans les variations saisonnières de la biomasse phytoplanctonique. La figure 1 illustre ces variations en terme de biomasse totale, microplanctonique (longueur de la cellule ou de la colonie > 50  $\mu$ m et volume > 10'000  $\mu$ m³) et nanoplanctonique (longueur de la cellule ou de la colonie < 50  $\mu$ m et volume < 10'000  $\mu$ m³). D'une manière générale, la biomasse totale maximale observée en 2003 est beaucoup moins importante que celle enregistrée l'année dernière (4'447 mg/m³ contre 11'950 mg/m³ en 2002).

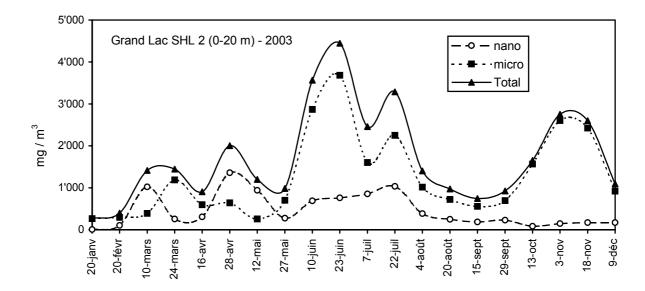


Figure 1: Variations des biomasses totale, microplanctonique et nanoplanctonique du phytoplancton dans le Grand Lac en 2003

Figure 1: Seasonal changes in the total microplankton and nanoplankton biomass in the phytoplankton of the Grand Lac in 2003

En 2003, on observe plusieurs pics de biomasse phytoplanctonique entre le 10 et le 24 mars, puis les 28 avril, 23 juin, 22 juillet et 3 novembre. L'ensemble de ces pics de biomasse est principalement dû au microplancton, mis à part les 10 mars et 28 avril, où le nanoplancton domine.

A ces dates, la cryptophycée *Rhodomonas minuta* et sa variété *nannoplanctica* ainsi que plusieurs espèces de Chlorophycées du genre *Chlamydomonas* représentent 47 % de la biomasse phyto-planctonique totale. On peut également noter que la biomasse moyenne annuelle du nanoplancton ne cesse d'augmenter ces 3 dernières années, passant de 5 % en 2001 à 18.6 % en 2002 et atteignant 28.3 % cette année. Le microplancton, quant à lui, voit sa biomasse moyenne annuelle diminuer, passant de 95 % en 2001 à 81.4 % en 2002 pour atteindre 71.7 % cette année.

La phase hivernale (de début janvier à fin février et décembre 2003) se caractérise par un faible développement algal. La biomasse moyenne pour les deux premiers prélèvements est de 336.5 mg/m³, ce qui n'est pas significativement différent de la valeur trouvée l'année dernière. La phase hivernale est essentiellement dominée par *Planktothrix rubescens* qui représente à elle seule 47 % de la biomasse moyenne.

En fin d'année (9 décembre), *Fragilaria crotonensis* est l'espèce dominante (52 %), suivie par *Oedogonium* sp. (18 %).

 La phase printanière, observée du 10 mars au 12 mai, est caractérisée par une légère augmentation de la biomasse totale au mois de mars, suivie d'une diminution le 16 avril puis d'une nouvelle augmentation le 28 avril.

On peut également remarquer une alternance entre la dominance du nanoplancton et du microplancton à cette période. L'augmentation de biomasse totale commence tout d'abord par celle du nanoplancton, dominé par une petite diatomée centrique *Cyclotella cyclopuncta* et une cryptophycée, *Rhodomonas minuta*. La biomasse de ces deux algues diminue brusquement entre le 10 et le 24 mars pour laisser place à des espèces microplanctoniques dont les principales sont *Microcystis aeruginosa* et *Diatoma tenuis*. Le 16 avril, la biomasse du microplancton diminue au profit du nanoplancton le 28 avril. A cette date, la cryptophycée *Rhodomonas minuta* et sa variété nannoplanctica ainsi que plusieurs espèces de Chlorophycées du genre *Chlamydomonas* représentent 47 % de la biomasse phytoplanctonique totale.

- Après la phase des eaux claires, entre le 12 et le 27 mai (transparence de 7.7 m et biomasse de 1'199.9 mg/m³), la phase estivale est observée du 10 juin au 22 juillet. La biomasse phytoplanctonique atteint son maximum le 23 juin (4'447 mg/m³) et est dominée par Ceratium hirundinella (1'060 mg/m³) et Dinobryon sociale var. stipitatum (950 mg/m³), constituant 45 % de la biomasse totale à cette date. Le pic du 22 juillet (3'290 mg/m³) résulte de la croissance de deux autres espèces, Diatoma tenuis (diatomée) (1'077 mg/m³) et Mougeotia gracillima (desmidiée), qui représentent aussi 45 % de la biomasse phytoplanctonique totale ainsi que de plusieurs espèces de la famille des Chlamydomonadaceae (470 mg/m³), espèces que nous n'avons pu identifier par manque de critères taxonomiques spécifiques. Il est intéressant de noter également que le début de la phase estivale marque le début de la dominance du microplancton sur le nanoplancton, dominance qui se poursuivra jusqu'à la fin de la phase hivernale.
- La transition entre la phase estivale et la phase automnale (4 août -18 novembre) est bien visible à cause d'une chute drastique de la biomasse de Diatoma tenuis qui passe de 1'077 mg/m³ le 27 juillet à 149 mg/m³ le 4 août. De façon globale, cette phase est caractérisée par une période de faible biomasse entre le 4 août et le 15 septembre et par une période d'augmentation de cette dernière jusqu'au 3 novembre. Durant la première période, on observe une augmentation relative de Planktothrix rubescens, malgré la diminution globale de la biomasse, alors que durant la deuxième période, l'augmentation de biomasse observée va de pair avec l'augmentation relative de Fragilaria crotonensis. Il est à noter que durant cette période, la chlorophycée filamenteuse Oedogonium sp. est surtout présente dans les échantillons récoltés au filet, nous laissant supposer que ces algues se situaient en majorité en dessous de 20 m. Enfin, le dernier pic qui survient à la fin de l'automne est dû à la prolifération tardive d'Oedogonium sp. et d'une diatomée pennée, Fragilaria crotonensis.

Le tableau 1 et la figure 2 présentent l'évolution interannuelle des biomasses printanières, estivales et annuelles moyennes.

La biomasse printanière moyenne est légèrement inférieure à celle de l'année précédente mais on peut considérer que les valeurs de ces 3 dernières années restent globalement stables. Par contre, la biomasse estivale moyenne a chuté de plus de 40 % par rapport à celle de 2002. Il est difficile d'apporter ici des éléments explicatifs à ce phénomène, mais les conditions particulières de la canicule estivale sont peut-être à soupçonner.

Tableau 1: Biomasses phytoplanctoniques (mg/m³) de 1998 à 2003 (SHL2, 0-20 m)

BP = de janvier à la phase des eaux claires ; BE = de la phase des eaux claires à décembre

Table 1: Phytoplankton biomass (mg/m³) from 1998 to 2003 (SHL2, 0-20 m)

BP = from January to the clear water phase; BE = from the clear water phase to December

| Année                                | 1998       | 1999       | 2000        | 2001        | 2002        | 2003       |
|--------------------------------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| Biomasse annuelle moyenne            | 2'435      | 2'015      | 2'266       | 4'976       | 2'747       | 1'727      |
| Biomasse printanière moyenne (BP)    | 769        | 952        | 659         | 967         | 1'183       | 1'075      |
| Biomasse estivale moyenne (BE)       | 3'204      | 2'395      | 3'255       | 6'938       | 3'530       | 2'007      |
| Rapport BP/BE                        | 0.24       | 0.40       | 0.20        | 0.13        | 0.34        | 0.54       |
| Biomasse printanière maximale (mois) | 1'813 (04) | 2'703 (04) | 2'650 (04)  | 1'541 (04)  | 5'767 (03)  | 2'004 (04) |
| Biomasse estivale maximale (mois)    | 9'010 (08) | 9'187 (08) | 22'258 (08) | 26'848 (08) | 11'946 (08) | 4'447 (06) |

La biomasse annuelle moyenne, qui avait retrouvé en 2002 une valeur comparable à celle des années précédentes (exception faite pour 2001), chute de 30 % cette année (par rapport à 2002), atteignant une valeur de 1'727 mg/m³. C'est la valeur la plus faible relevée depuis 1995.

La valeur du rapport BP/BE qui avait déjà fortement augmenté l'année dernière continue sa progression et atteint cette année une valeur de 0.54. C'est la valeur la plus forte enregistrée depuis les six dernières années.

Enfin, la biomasse printanière maximale est retrouvée à peu près à la même date que les années précédentes. Par contre, la biomasse estivale maximale se retrouve beaucoup plus tôt dans la saison avec une valeur pratiquement trois fois plus faible que celle de l'année dernière.

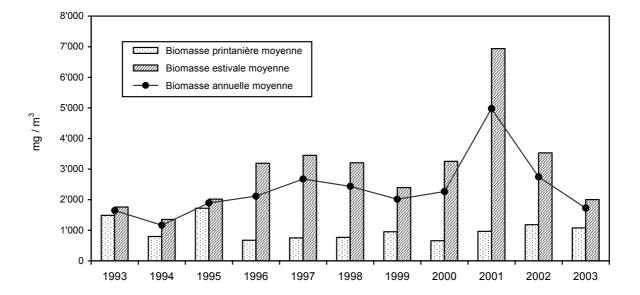


Figure 2 : Évolution des biomasses printanière, estivale et annuelle moyenne dans le Léman (SHL2) de 1993 à 2003

Figure 2: Year on year change in the springtime, summer and mean annual phytoplankton biomass values in Lake Geneva (SHL 2) between 1993 and 2003

## 3.2 Richesse taxonomique

140 taxons ont été identifiés en 2003, soit 21 de plus que l'année précédente (119). L'augmentation du nombre d'espèces est répartie entre le microplancton (11) et le nanoplancton (10) contrairement à l'année dernière où nous avions constaté une augmentation surtout d'espèces du microplancton.

Nous avons recensé 9 nouveaux taxons qui n'avaient encore jamais été trouvés dans le Grand Lac:

- 1 cyanobactérie coloniale : Merismopedia tenuissima,
- 2 diatomées : Cyclotella pseudostelligera, Eunotia serra var. tetraodon,
- 5 chlorophycées : Chlorolobion saxatile, Heleochloris pallida, Kirchneriella irregularis, Pediastrum simplex, Scenedesmus opoliensis,
- 1 conjuguée : Closterium limneticum.

L'évolution de la richesse taxonomique entre 1993 et 2003 est présentée à la figure 3. Les résultats pour 2003 montrent une augmentation du nombre de taxons par rapport à l'année dernière et un retour aux valeurs observées entre 1993 et 1995.

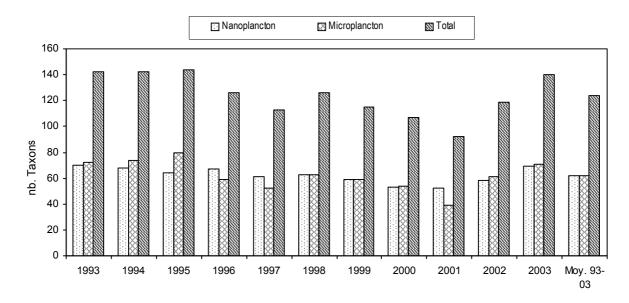


Figure 3 : Nombre de taxons (total, micro- et nanoplancton) observés à la station SHL2 entre 1993 et 2003 et moyennes pour la période

Figure 3: Number of taxa (total, micro- and nanoplankton) that were recorded at the SHL2 station between 1993 and 2003, and the mean for this period

# 3.3 Répartition par classes d'algues et par classes de taille

La répartition du nombre de taxons en 2003, entre les différentes classes d'algues ainsi que leur appartenance au nanoplancton ou au microplancton figurent dans le tableau 2.

Tableau 2 : Répartition entre micro- et nanoplancton du nombre de taxons des différentes classes d'algues à la station SHL2 en 2003

Table 2 : Relative numbers of micro- and nanoplankton taxa in the various phytoplankton categories at the SHL2 station in 2003

| Classe         | Microplancton | Nanoplancton | Total |
|----------------|---------------|--------------|-------|
| Cyanobactéries | 17            | 2            | 19    |
| Dinophycées    | 4             | 4            | 8     |
| Cryptophycées  | 0             | 3            | 3     |
| Chrysophycées  | 4             | 8            | 12    |
| Xanthophycées  | 0             | 0            | 0     |
| Diatomées      | 13            | 17           | 30    |
| Chlorophycées  | 23            | 33           | 56    |
| Conjuguées     | 10            | 2            | 12    |
| Total          | 71            | 69           | 140   |

La figure 4 présente l'évolution des biomasses relatives des deux groupes de taille entre 1993 et 2003 où l'on observe en 2003 une augmentation du nanoplancton par rapport aux deux années précédentes. Globalement, les valeurs enregistrées depuis 1996 montrent de fortes fluctuations.

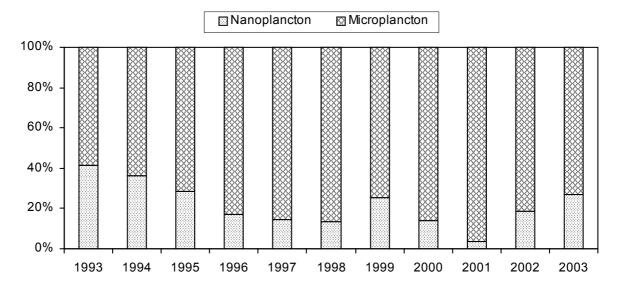


Figure 4: Biomasses relatives du nano- et du microplancton de 1993 à 2003 à la station SHL2
Figure 4: Relative biomass of the nano- and microplankton from 1993 to 2003 at the SHL2 station

La figure 5 montre qu'en 2003, la répartition des biomasses relatives des différentes classes d'algues est approximativement la même que celle de l'année précédente. La variabilité entre ces deux années est faible comparativement aux années précédentes (les années avant 2001 ont des valeurs calculées sur des prélèvements effectués sur la tranche d'eau 0-10m et non 0-20m).

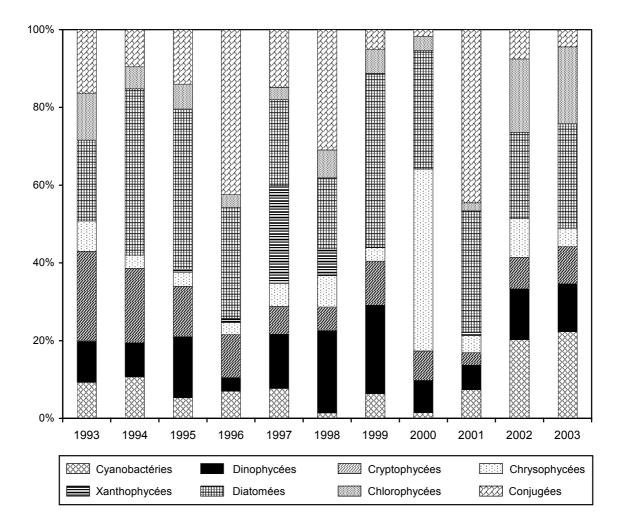


Figure 5 : Biomasses relatives des différentes classes d'algues de 1993 à 2003 à la station SHL2.

Figure 5: Relative biomass of the various phytoplankton classes from 1993 to 2003 at the SHL2 station.

Comme l'année précédente, les trois classes dominantes sont les diatomées (27 %), les cyanobactéries (22 %) et les chlorophycées (20 %). La biomasse des chrysophycées et des conjuguées diminue de moitié par rapport à 2002.

# 3.4 Contribution des principales espèces

En 2003, sur 140 espèces inventoriées, 6 sont considérées comme "très abondantes" (> 6 % de la biomasse totale annuelle) et constituent plus de 50 % de la biomasse totale (tableau 4).

14 autres espèces sont abondantes (entre 1 % et 6 % de la biomasse totale annuelle), 3 d'entre elles ont une biomasse se situant entre 4 % et 6 %. En tout, 9 taxons représentent plus de 67 % de la biomasse totale annuelle.

En 2002, les espèces principales étaient également au nombre de 9, mais représentaient 71 % de la biomasse annuelle. *Pseudosphaerocystis lundii* qui était l'espèce la plus importante en 2002, a vu sa biomasse fortement régresser, cette dernière passant de 13.2 % à 0.1 %. Par conséquent, elle ne se retrouve plus dans les 9 espèces principales. Il en va de même pour *Mougeotia gracillima* dont la biomasse est passée de 5.6 % à 3.2 %.

Par contre, *Oedogonium* sp. se classe parmi les 5 taxons dont la biomasse est la plus importante (7.2 %). L'espèce *Cyclotella cyclopuncta*, quant à elle, double sa biomasse moyenne cette année (4.9 %).

L'évolution des espèces dominantes depuis 1998 est présentée au tableau 5 en annexe.

# 3.5 Développement des espèces principales au cours de l'année

En 2003, on peut relever les éléments suivants au sujet du développement des espèces principales, présentée dans la figure 6 :

- Fragilaria crotonensis avec 13 % de la biomasse annuelle, est observée au début de l'été (10 juin) avec plus de 40 % de la biomasse totale (1'496 mg/m³), puis elle montre une forte croissance à la fin de l'automne et au début de l'hiver (du 13 octobre au 9 décembre).
- Planktothrix rubescens, cyanobactérie filamenteuse typique des lacs de la zone alpine légèrement eutrophisés (JACQUET et al., 2004), est présente pratiquement tout au long de l'année. Durant la période hivernale, elle domine le peuplement algal. En effet, on observe une biomasse relative importante de cette espèce entre le 20 janvier et le 20 février bien que la biomasse totale soit faible (274 mg/m³). Par ailleurs, P. rubescens présente une biomasse relative non négligeable durant la phase automnale. Notons que cette espèce est en légère augmentation par rapport à l'année dernière et présente une biomasse moyenne de 197 mg/m³.
- Diatoma tenuis voit sa biomasse relative moyenne fortement augmenter par rapport à l'année dernière (8.1 % en 2003 contre 5.6 % en 2002). Cette espèce est présente tout au long de l'année et présente un pic de biomasse le 22 juillet (1'077 mg/m³).
- Ceratium hirundinella est une espèce qui se développe préférentiellement durant l'été (CARTY, 2003). Sa biomasse est effectivement plus importante à la fin de l'été et au début de l'automne. Le 4 août la température de l'eau de surface était de 25.5°C contre un peu plus de 22.0°C à la même date en 2002. Sa biomasse relative moyenne régresse (11 % en 2002 contre 8 % en 2003). Ce taxon étant thermophile, les conditions climatiques de cette année auraient dû le favoriser. Nous constatons l'inverse et il est probable que cette forte température n'a pas suffi à la dominance de cette espèce (ou que d'autres facteurs sont intervenus ?).
- Oedogonium sp. est une algue verte filamenteuse qui vit au départ fixée à sa base puis librement dans la colonne d'eau. L'identification des espèces est difficile car basée sur des caractères reproductifs rarement retrouvés (voir paragraphe 3.3) (JOHN, 2003). Si elle est présente dans le Léman depuis quelques années, c'est la première fois qu'elle atteint des biomasses importantes en fin d'année (du 13 octobre au 9 décembre). Son évolution est à surveiller car elle fait partie des espèces dominantes en 2003. De plus, cette espèce filamenteuse est peu broutée par le zooplancton et sa prolifération pourrait mener à l'apparition de blooms, avec les conséquences que ces derniers peuvent avoir sur le reste de la communauté planctonique et de la chaîne alimentaire (zooplancton, poissons, ...).
- Rhodomonas minuta atteint une biomasse de 642 mg/m³ le 28 avril, ce qui représente une biomasse trois fois moins importante que celle observée l'année dernière lorsque cette espèce était à son maximum de croissance (1'721 mg/m³ le 18 mars 2002). Cette espèce est essentiellement présente au printemps et présente de faibles effectifs le reste de l'année.
- Cyclotella cyclopuncta est une espèce souvent associée aux milieux oligo-mésotrophes (SEIP et REYNOLDS, 1995). Sa biomasse totale moyenne qui était de 1.5 % en 2002 représente cette année 5 %. Sa biomasse maximale atteint 556 mg/m³ le 10 mars alors qu'elle n'était que de 301 mg/m³ à la même époque l'année dernière. Le reste de l'année, elle n'est présente que sporadiquement et sa biomasse reste relativement faible.
- Les Dinobryon sont mixotrophes et typiques de la communauté planctonique estivale. Généralement, on les retrouve dans des lacs oligo-mésotrophes (PEARSALL, 1932). Dans le Grand Lac, Dinobryon sociale apparaît le 10 juin et présente un pic (950 mg/m³) le 23 juin. Par la suite sa biomasse diminue et ne constitue plus qu'une faible part de la biomasse totale.
- Les Chlamydomonadaceae spp. regroupent quelques genres que nous n'avons pu déterminer par manque de caractères spécifiques nécessaires à leur identification. Ils apparaissent le 12 mai et perdurent jusqu'à la fin de l'année, leur biomasse devenant négligeable à partir du 15 septembre.

# 4. CONCLUSIONS

La biomasse annuelle moyenne a encore régressé cette année (1'727 mg/m³ contre 2'747 mg/m³ l'année précédente). C'est la valeur la plus faible obtenue depuis 1995 (1'897 mg/m³). La biomasse estivale moyenne (2'007 mg/m³ contre 3'530 mg/m³ en 2002) est également en forte diminution. La biomasse printanière moyenne est stable (1'075 mg/m³). La part du nanoplancton est en constante augmentation depuis 2000, pour atteindre cette année un rapport BP/BE de 0.54 (BP = de janvier à la phase des eaux claires ; BE = de la phase des eaux claires à décembre), due à une graduelle amélioration de la qualité trophique des eaux (PAVONI, 1963). La richesse taxonomique a fortement augmenté en 2003 (140 taxons). C'est une des valeurs les plus fortes avec celles observées entre 1993 et 1995. La période automnale montre un développement très important d'une chlorophycée filamenteuse (*Oedogonium* sp.) espèce rencontrée de façon occasionnelle en 2003. Actuellement ce taxon n'est pas déterminable à l'espèce du fait de l'absence d'organe de reproduction nécessaire à une détermination précise.

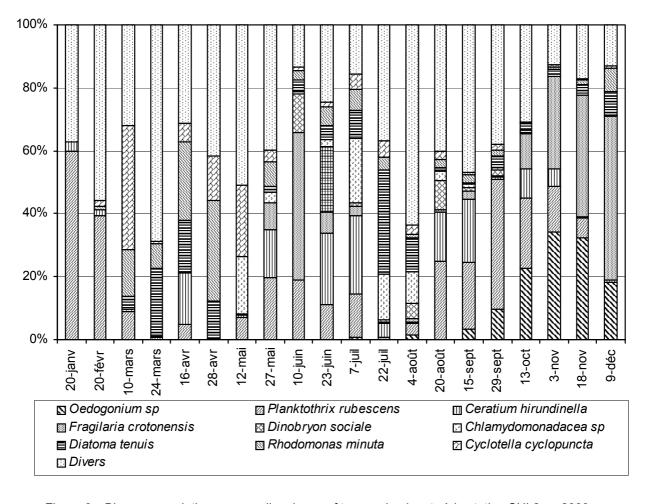


Figure 6 : Biomasses relatives mensuelles des neuf taxons dominants à la station SHL2 en 2003

Figure 6 : Relative monthly biomass of the nine dominant taxa at the SHL2 station in 2003.

# **BIBLIOGRAPHIE**

- CARTY, S. (2003): Dinoflagellates. In: Freshwater Algae of North America. Ecology and Classification. Ecology and Classification. Wehr, J. D. and Sheath, R. G. (Eds) Academic Press, Paris.
- DRUART, J.-C., LAVIGNE, S. et PERFETTA, J. (2003): Evolution du phytoplancton du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2002, 69-84.
- JACQUET, S., BRIAND, J.F., LEBOULANGER, C., AVOIS-JACQUET, C., OBERHAUS, L., TASSIN, B., VINÇON-LEITE, B., PAOLINI, G., DRUART, J.C., ANNEVILLE, O. et HUMBERT, J.F. (2004): The proliferation of the toxic cyanobacterium Planktothrix rubescens following restoration of the largest natural French Lakes (Lac du Bourget). Harmful Algae (in press).
- JOHN, D. M. (2003): Filamentous and Plantlike Green Algae. In: Freshwater Algae of North America. Ecology and Classification. Wehr, J. D. and Sheath, R. G. (Eds) Academic Press, Paris.
- LEBOULANGER, C. (2004): Dynamique de la production phytoplanctonique et de la biomasse chlorophyllienne dans le Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2003, 59-68.
- PAVONI, M. (1963): Die Bedeutung des nanoplanktons im Vergleich zum Wetzplankton. Schweiz, Z. hydrol., 25, 219-341.
- PEARSALL, W. H. (1932): Phytoplankton in the English Lakes. 2. The composition of the phytoplankton in relation to dissolved substances of biological importance. Journal of Ecology, 20, 241-262.
- SEIP, K.L., et REYNOLDS, C.S. (1995): Phytoplankton functional attributes along trophic gradient season. Limnol. Oceanogr., 40, 589-597.
- UTERMÖHL, H. (1958): Toward the improvement of the quantitative phytoplankton Method. Mitteilungen-Internationale Vereiningung für Limnonogie, 9, 1-38 (In German).
- YANG, J.-R., et PICK, F.-R. (1996): Changes in the phytoplankton diatom flora of a large mountain lake in response to fertilization. Journal of Phycology, 32, 232-243.

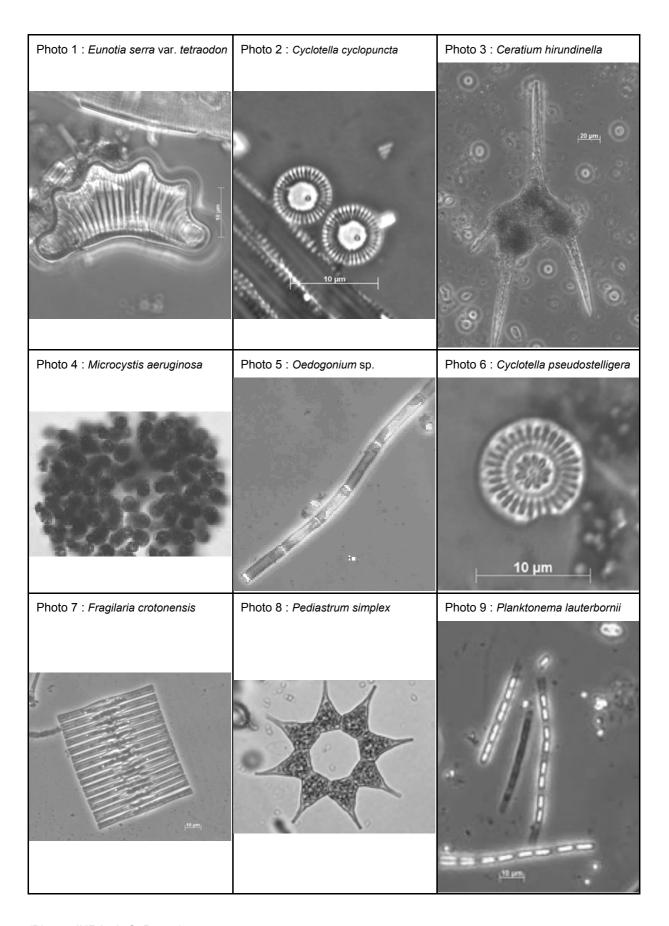
Tableau 3 : Biomasse relative des espèces les plus abondantes (Léman SHL 2, 1998 à 2003)

Table 3: Relative biomass of the most abundant species (Lake Geneva SHL2, 1998 à 2003)

|   | 1      | · ·    |        |        |        | 1        |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|----------|
|   | 1998   | 1999   | 2000   | 2001   | 2002   | 2003     |
| CYANOBACTÉRIES                          |        |        |        |        |        |          |
| Aphanizomenon flos-aquae                | 0.1    | 0.01   | 0.8    | *3.6   | *2.3   | * 2.8    |
| Microcystis aeruginosa                  |        |        |        |        | *4.2   | * 1.1    |
| Planktothrix rubescens                  | 0.5    | *1.0   |        | *1.7   | **10.9 | ** 11.4  |
| Pseudanabaena galeata                   |        | *2.9   | 0.3    | 0.7    | 0.3    | * 1.4    |
| DINOPHYCÉES                             |        |        |        |        |        | •        |
| Gymnodinium helveticum                  | 0.3    | *1.0   | 0.9    | 0.3    | 0.4    | * 1.0    |
| Peridinium willei                       | 0.6    | *2.2   |        | 0.3    | 0.5    | * 2.2    |
| Ceratium hirundinella                   | **19.5 | **16.2 | **6.9  | *5.7   | **10.6 | ** 7.7   |
| Woloszynska pseudopalustre              |        |        |        |        | *1.3   |          |
| CRYPTOPHYCÉES                           | •      | •      |        |        | •      | •        |
| Cryptomonas spp.                        | *3.0   | **6.5  | *2.1   | 0.7    | *1.9   | * 2.4    |
| Rhodomonas minuta                       | *1.9   | *3.4   | *4.4   | *2.2   | *4.7   | ** 6.1   |
| Rhodomonas minuta var. nannoplanctonica | *1.1   | *1.4   | *1.1   | 0.3    | *1.6   | 0.5      |
| CHRYSOPHYCÉES                           | 1.     |        |        |        |        |          |
| Dinobryon sociale                       | *4.9   | *1.2   | **45.5 | *2.0   | **7.8  | * 1.2    |
| Dinobryon sociale var. stipitatum       |        |        |        |        |        | * 4.6    |
| DIATOMÉES                               | •      | •      |        |        | •      | •        |
| Stephanodiscus neoastreae               | 0.3    | *1.7   | 0.3    | 0.3    | 0.3    | 0.5      |
| Stephanodiscus alpinus                  |        |        |        |        | *1.9   | 0.0      |
| Stephanodiscus minutulus                | 0.0    | *2.2   | *1.5   | 0.0    | *1.2   | 0.0      |
| Diatoma tenuis                          | **9.1  | **26.2 | *1.5   | **25.1 | *5.6   | ** 8.1   |
| Fragilaria crotonensis                  | *1.9   | **7.8  | **7.3  | 0.3    | **8.0  | ** 13.2  |
| Fragilaria ulna                         |        |        |        |        | *2.2   |          |
| Asterionella formosa                    | *3.4   | *1.8   | *1.2   | 0.2    | 0.8    | 0.5      |
| Synedra acus var. angustissima          | 0.9    | *1.1   | 0.3    | 0.2    | 0.1    | 0.4      |
| Cyclotella radiosa                      | *1.2   | 0.0    | 0.0    | 0.1    | 0.1    | 0.3      |
| Cyclotella cyclopuncta                  | 0.4    | 2.0    | 0.9    | 0.7    | *1.5   | * 4.9    |
| Tabellaria flocculosa                   | 0.6    | 0.5    | **15.3 | *4.1   | 0.0    |          |
| CHLOROPHYCÉES                           |        |        |        |        |        |          |
| Chlamydomonadaceae spp.                 |        |        |        |        |        | * 4.2    |
| Chlamydomonas sp.                       | *1.7   | *1.4   |        | 0.2    | *1.7   | * 3.0    |
| Oedogonium sp.                          |        |        |        |        |        | ** 7.2   |
| Pseudosphaerocystis lundii              |        |        |        |        | **13.2 | 0.1      |
| Ulothrix spp.                           |        |        |        |        | *1.8   | 0.1      |
| Chlorophycées indéterminées             |        |        |        |        |        | * 1.22   |
| Dictyosphaerium pulchellum              |        |        |        |        |        | * 1.42   |
| CONJUGUÉES                              |        |        |        |        | 1      | 1        |
| Mougeotia gracillima                    | **24.4 | *1.9   | 0.2    | **44   | *5.9   | * 3.0    |
| Staurastrum cingulum                    | *5.1   | *1.4   | *1.0   | 0.2    | 0.7    | <u> </u> |

<sup>\*\*:</sup> espèces très abondantes (plus de 6 % de la biomasse totale)

<sup>\*:</sup> espèces abondantes (entre 1 et 6 % de la biomasse totale)



(Photo: INRA, J.-C. Druart)

# ÉVOLUTION DU ZOOPLANCTON DU LÉMAN

# CHANGES IN THE ZOOPLANKTON OF LAKE GENEVA

Campagne 2003

PAR

# **Gérard BALVAY, Leslie LAINE et Orlane ANNEVILLE**

STATION D'HYDROBIOLOGIE LACUSTRE (INRA-UMR/CARRTEL), BP 511, FR - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex

# RÉSUMÉ

L'étude du zooplancton n'a pas pu être effectuée complètement en 2003, l'abondance du phytoplancton ayant rendu impossible l'examen des échantillons en novembre et décembre. Le biovolume sédimenté du zooplancton pourrait avoir augmenté en 2003. L'abondance de la population de <u>Cyclops vicinus</u> reste faible, les Bosminidés sont en très forte régression et les Daphniidés sont peu abondants au printemps. Le fonctionnement saisonnier du réseau trophique en 2003 est encore perturbé par les importants développements d'algues filamenteuses et de diatomées coloniales, difficilement ingérables par le zooplancton herbivore; la simultanéité entre le développement des daphnies, l'augmentation de la transparence et le minimum printanier du nanophytoplancton, n'apparaît nettement et brièvement que le 12 mai 2003.

# **ABSTRACT**

It was not possible to carry out an exhaustive study of the zooplankton in 2003, because the abundance of phytoplankton made it impossible to examine the samples in November and December. The settled biovolume of the zooplankton may have increased in 2003. The abundance of the population of <u>Cyclops vicinus</u> remained low, the bosminids decreased very markedly, and the daphnids were in short supply in the spring. In 2003, the seasonal pattern of the trophic network was still upset by major developments of filamentous algae and colonial diatoms, which are difficult for the zooplankton to ingest; the simultaneous occurrence of daphnid development, increased transparency and the springtime minimum of nanophytoplankton, was clearly visible only briefly on 12 May 2003.

# 1. INTRODUCTION

Le zooplancton d'eau douce est composé principalement des rotifères et des microcrustacés, auxquels il convient d'adjoindre les protozoaires (protozooplancton), non étudiés dans ce document, et durant la saison chaude les larves nageuses (larves véligères) de la moule zébrée d'eau douce *Dreissena polymorpha*. Grâce à la diversité des tailles de ces organismes et de leur mode d'alimentation, le zooplancton joue un rôle fondamental dans le fonctionnement du réseau trophique lacustre et les transferts d'énergie, par prédation sur les bactéries, les protozoaires et le phytoplancton, surtout lorsque ce dernier est facilement ingérable, et comme source de nourriture pour les poissons.

L'étude du zooplancton à la station centrale SHL2 en 2003 a bénéficié des mêmes procédures que les années précédentes. Parmi les 20 prélèvements biologiques effectués, le biovolume sédimenté n'a pu être effectué que sur 16 d'entre eux et les dénombrements du zooplancton sur 17, en raison de l'abondance du phytoplancton et surtout des algues filamenteuses ayant modifié les caractéristiques de filtration du filet à zooplancton, rendant la détermination volumétrique du zooplancton sédimenté et les dénombrements très difficiles, voire impossibles, et surtout très peu fiables (BALVAY, 2002).

Il en résulte dans ce document que les différentes valeurs (moyennes annuelles, abondances maximales, etc...) doivent être considérées comme des valeurs approchées en raison de l'impossibilité de traiter les échantillons de novembre et décembre 2003.

# 2. MÉTHODOLOGIE

Le zooplancton (microcrustacés et grands rotifères) est recueilli au centre du Grand Lac (station SHL2) avec un filet à vide de maille de 0.20 mm lors de traits verticaux effectués depuis 50 mètres de profondeur jusqu'en surface.

Chaque échantillon de zooplancton, fixé au formol à 5 %, est mis à décanter durant 24 heures dans des entonnoirs cylindro-coniques gradués, à l'abri des vibrations, afin de mesurer le biovolume sédimenté.

L'éventuel volume de phytoplancton déposé au-dessus du zooplancton n'est pas pris en compte.

Les microcrustacés sont identifiés et décomptés en fonction de leurs stades de développement au microscope standard sur lame de comptage à partir d'un sous-échantillon. En raison de leur grande taille et de leur faible abondance par rapport aux autres crustacés planctoniques, les cladocères prédateurs (*Bythotrephes*, *Leptodora*) sont dénombrés dans l'intégralité du prélèvement.

# 3. STRUCTURE ET DYNAMIQUE DE LA BIOCÉNOSE ZOOPLANCTONIQUE

La liste des organismes rencontrés en 2003 dans le domaine pélagique est présentée dans l'annexe 1. A cette liste sont ajoutées les espèces littorales observées lors de prélèvements occasionnels.

# 3.1 Microcrustacés

Le zooplancton pélagique ne représente qu'une fraction des microcrustacés présents dans le Léman, la faune littorale étant nettement plus diversifiée en raison de la localisation préférentielle dans cette zone des Chydoridés et de diverses espèces de Daphniidés (BALVAY, 1999).

Comme durant les années précédentes (sauf en 1997), les Calanoïdes (*Eudiaptomus gracilis*) constituent le groupe le plus important du zooplancton avec 59 % du peuplement, devant les Cyclopoïdes (26 %) et les Branchiopodes Cladocères (15 %) (figure 1).

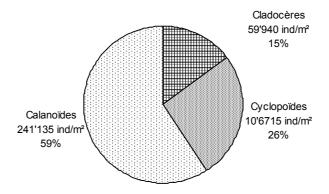


Figure 1 : Composition moyenne annuelle du zooplancton en 2003 (Léman, SHL2) Figure 1 : Mean annual composition of zooplankton in 2003 (Lake Geneva, SHL2)

L'abondance moyenne annuelle des microcrustacés avait diminué en 2002 en relation avec une diminution générale des Calanoïdes et des Cyclopoïdes, les Branchiopodes progressant un peu. En 2003, le peuplement zooplanctonique montre une légère progression due aux Calanoïdes et aux Cyclopoïdes, malgré la régression des Branchiopodes (tableau 1).

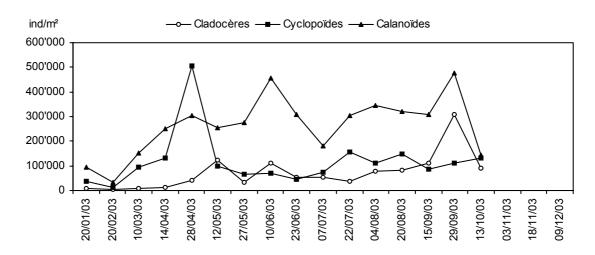


Figure 2 : Evolution du peuplement crustacéen (courbes cumulées) (Léman, SHL2)

Figure 2: Changes in the abundance of Crustacea (cumulative curves) (Lake Geneva, SHL2)

Tableau 1: Evolution de l'abondance des groupes de microcrustacés (Léman, SHL2)

Table 1: Long-term changes in the abundance of some microcrustacean groups (lake Geneva, SHL2)

| ind/m <sup>2</sup> | 1997                 | 1998                 | 1999                 | * 2000                    | ** 2001 | 2002               | * 2003             |  |  |  |  |
|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------------|---------|--------------------|--------------------|--|--|--|--|
| Moyenne (ind/m²)   |                      |                      |                      |                           |         |                    |                    |  |  |  |  |
| Microcrustacés     | 390'100              | 410'000              | 414'300              | * 609'500                 |         | 374'800            | * 407'800          |  |  |  |  |
| Branchiopodes      | 79'800               | 84'300               | 149'000              | 67'700                    |         | 81'300             | * 59'900           |  |  |  |  |
| Cyclopoïdes        | 164'800              | 132'200              | 116'800              | 199'300                   |         | 81'200             | * 106'700          |  |  |  |  |
| Calanoïdes         | 145'500              | 193'500              | 148'500              | 342'500                   |         | 212'200            | * 241'100          |  |  |  |  |
|                    |                      | Ма                   | ximum (ind/r         | n <sup>2</sup> ) - (date) |         |                    |                    |  |  |  |  |
| Microcrustacés     | 2'554'900<br>(21/05) | 1'024'100<br>(06/05) | 1'083'400<br>(10/05) | 1'813'100<br>(23/05)      |         | 957'000<br>(15/05) | 895'500<br>(29/09) |  |  |  |  |
| Branchiopodes      | 799'000<br>(21/05)   | 509'700<br>(06/05)   | 657'100<br>(10/05)   | 314'000<br>(23/05)        |         | 437'200<br>(29/05) | 306'400<br>(29/09) |  |  |  |  |
| Cyclopoïdes        | 1'002'200<br>(21/05) | 348'300<br>(20/04)   | 391'800<br>(26/04)   | 1'270'100<br>(09/05)      |         | 183'600<br>(17/04) | 503'700<br>(28/04) |  |  |  |  |
| Calanoïdes         | 753'800<br>(21/05)   | 413'600<br>(02/11)   | 600'100<br>(13/12)   | 680'600<br>(23/05)        |         | 456'400<br>(12/06) | 477'200<br>(29/09) |  |  |  |  |

<sup>\*</sup> année incomplète \*\* année avec données non disponibles

Il faut remarquer l'apparition tardive des pics d'abondance maximale des Branchiopodes et des Calanoïdes en automne, et qui pourrait être due aux fortes températures estivales. Ce facteur thermique, très élevé en été, aurait nui au développement des daphnies, celles-ci ne se développant qu'en septembre à la suite du refroidissement des eaux (figure 2)

L'abondance des organismes zooplanctoniques montre un peuplement accru les 28 avril (851'400 ind/m², essor des Cyclopoïdes), 10 juin (637'700 ind/m², Calanoïdes dominants) et 29 septembre (859'400 ind/m², Cladocères dominants).

L'essor des Cyclopoïdes et des Calanoïdes au printemps va de pair avec l'augmentation des concentrations en  $NH_4^+$  dans les strates superficielles observée par LAZZAROTTO et *al.* (2004).

# 3.1.1 Branchiopodes (Cladocères)

Ce groupe renferme des organismes herbivores, Daphniidés et Bosminidés ainsi que des prédateurs de grande taille (*Leptodora kindtii* et *Bythotrephes longimanus*).

Les daphnies représentent la composante principale des Branchiopodes (53'500 ind/m²). Les Bosminidés montrent une très importante régression par rapport aux années antérieures, présentant toujours des variations annuelles extrêmement importantes (tableau 2 et figure 3). Le développement des Bosminidés paraît présenter un cycle d'abondance pluri-annuel.

Le pic de printemps des daphnies en 2003 ( $116'600 \text{ ind/m}^2 \text{ le } 15 \text{ mai}$ ) est comparable à celui de 2002, mais c'est en septembre que se situe l'abondance maximale de ces cladocères, deux fois plus importante et plus tardive qu'en 2002 (19 août).

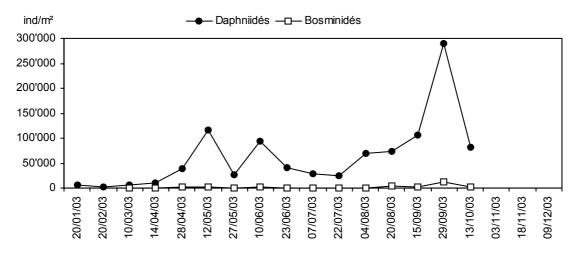


Figure 3: Evolution de l'abondance des Branchiopodes herbivores (Léman, SHL2)

Figure 3: Changes in the abundance of herbivorous Branchiopoda (Lake Geneva, SHL2)

Tableau 2: Evolution de l'abondance des Branchiopodes herbivores (Léman, SHL2)

Table 2: Long-term changes in the abundance of herbivorous Branchiopoda (Lake Geneva, SHL2)

|                     | 1997              | 1998    | 1999    | * 2000   | ** 2001 | 2002    | * 2003  |  |  |  |  |
|---------------------|-------------------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|--|--|--|--|
| Herbivores (ind/m²) |                   |         |         |          |         |         |         |  |  |  |  |
| Moyenne             | 77'000            | 80'800  | 142'900 | * 62'000 |         | 76'500  | 55'100  |  |  |  |  |
| Maximum             | 797'900           | 507'300 | 656'400 | 307'600  |         | 426'000 | 301'800 |  |  |  |  |
| (date)              | (21/05)           | (06/05) | (10/05) | (23/05)  |         | (29/05) | (29/09) |  |  |  |  |
|                     | Daphnies (ind/m²) |         |         |          |         |         |         |  |  |  |  |
| Moyenne             | 50'700            | 75'200  | 81'000  | 61'800   |         | 34'600  | 53'500  |  |  |  |  |
| Maximum             | 474'600           | 483'500 | 304'400 | 307'100  |         | 142'400 | 290'000 |  |  |  |  |
| (date)              | (21/05)           | (06/05) | (18/10) | (23/05)  |         | (19/08) | (29/09) |  |  |  |  |
| Bosmines (ind/m²)   |                   |         |         |          |         |         |         |  |  |  |  |
| Moyenne             | 26'300            | 5'600   | 64'600  | 200      |         | 41'900  | 1'600   |  |  |  |  |
| Maximum             | 323'300           | 23'800  | 538'000 | 1'900    |         | 330'500 | 11'700  |  |  |  |  |
| (date)              | (21/05)           | (06/05) | (10/05) | (12/10)  |         | (29/05) | (29/09) |  |  |  |  |

<sup>\*</sup> année incomplète \*\* année avec données non disponibles

La population réduite des Branchiopodes herbivores n'a pas pu limiter l'abondance printanière du phytoplancton mais les daphnies se sont avérées efficaces en fin d'été en contrôlant l'abondance du microphytoplancton.

La réduction progressive d'abondance des daphnies entre 1996 et 2003 confortait les observations de GERDEAUX (2003) sur la diminution de la participation de ces branchiopodes dans le régime alimentaire du corégone du Léman. Cependant en 2003, malgré une augmentation d'abondance des daphnies, celles-ci ne participent pratiquement pas à l'alimentation des corégones, sauf en septembre-octobre où elles se substituent à *Bythotrephes* (GERDEAUX 2004)

Toujours moins abondants que les cladocères herbivores, les Cladocères prédateurs *Leptodora kindtii* et *Bythotrephes longimanus* présentent en moyenne annuelle des effectifs comparables à ceux des années antérieures (tableau 3).

Leptodora kindtii est une espèce saisonnière à *preferendum* estival, qui apparaît dès avril 2003 ; elle développe une très importante population de juin à août (maximum : 21'700 ind/m² le 7 juillet) puis régresse progressivement jusqu'à disparaître à l'approche de l'hiver (figure 4).

Bythotrephes longimanus est pratiquement présent tout au long de l'année; c'est une espèce pérenne à développement marqué en période de stratification thermique. Son abondance maximale atteint 5'300 ind/m² le 10 juin. Cette espèce est cependant moins abondante et présente des fluctuations saisonnières moins importantes que *L. kindtii* (figure 4). Le développement saisonnier important de ces deux prédateurs limite l'abondance des daphnies durant la saison estivale.

Tableau 3: Evolution de l'abondance des Branchiopodes carnivores (Léman, SHL2)

Table 3: Seasonal changes in the abundance of carnivorous Branchiopoda (Lake Geneva, SHL2)

| 1997                                  | 1998                               | 1999  | * 2000  | ** 2001  | 2002   | * 2003  |  |  |  |  |
|---------------------------------------|------------------------------------|---|---|--|--|---|--|--|--|--|
| Bythotrephes (ind/m²)                 |                                    |   |   |  |  |   |  |  |  |  |
| Moyenne 1'000 1'100 800 * 900 970 940 |                                    |   |   |  |  |   |  |  |  |  |
| 5'100<br>(25/06)                      | 5'600<br>(02/06)                   | 6'100<br>(16/06)  | 4'100<br>(13/06)  |  | 7'000<br>(29/05)   | * 5'300<br>(10/06)  |  |  |  |  |
|                                       |                                    | Leptodora   | (ind/m²)  |  |  |   |  |  |  |  |
| 1'800                                 | 2'400                              | 2'600   | * 4'800   |  | 3'900  | * 3'900   |  |  |  |  |
| 12'200<br>(19/08)                     | 26'900<br>(20/07)                  | 17'300<br>(23/08)   | 31'900<br>(08/08)   |  | 24'100<br>(08/07)  | 21'700<br>(07/07)   |  |  |  |  |
|                                       | 1'000<br>5'100<br>(25/06)<br>1'800 | 1'000 1'100<br>5'100 5'600<br>(25/06) (02/06)<br>1'800 2'400<br>12'200 26'900 | Bythotrephes           1'000         1'100         800           5'100         5'600         6'100           (25/06)         (02/06)         (16/06)           Leptodora           1'800         2'400         2'600           12'200         26'900         17'300 | Bythotrephes (ind/m²)           1'000         1'100         800         * 900           5'100         5'600         6'100         4'100           (25/06)         (02/06)         (16/06)         (13/06)           Leptodora (ind/m²)           1'800         2'400         2'600         * 4'800           12'200         26'900         17'300         31'900 | Bythotrephes (ind/m²)       1'000     1'100     800     * 900       5'100     5'600     6'100     4'100       (25/06)     (02/06)     (16/06)     (13/06)       Leptodora (ind/m²)       1'800     2'400     2'600     * 4'800       12'200     26'900     17'300     31'900 | Bythotrephes (ind/m²)           1'000         1'100         800         * 900         970           5'100         5'600         6'100         4'100         7'000           (25/06)         (02/06)         (16/06)         (13/06)         (29/05)           Leptodora (ind/m²)           1'800         2'400         2'600         * 4'800         3'900           12'200         26'900         17'300         31'900         24'100 |  |  |  |  |

<sup>\*</sup> année incomplète \*\* année avec données non disponibles

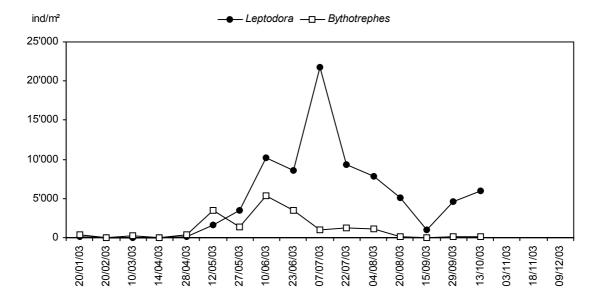


Figure 4 : Evolution saisonnière des branchiopodes prédateurs (Léman, SHL2) Figure 4 : Seasonal changes in predatory Branchiopoda (Lake Geneva, SHL2)

Les crustacés prédateurs de grande taille, surtout *Bythotrephes*, constituent une part importante de l'alimentation des corégones mais leur importance relative dans les estomacs de ces poissons ne reflète pas toujours leur abondance dans les prélèvements effectués avec un filet à zooplancton. Plusieurs causes peuvent être invoquées : migration des crustacés au delà de 50 m de profondeur, zone non explorée par

Le rôle de *Leptodora* dans l'alimentation des corégones a nettement diminué de 1999 à 2003, sauf en septembre-octobre de cette dernière année. *Bythotrephes* constitue la fraction très nettement dominante du régime alimentaire des corégones de 1999 à 2002. La participation de *Bythotrephes* est encore plus importante dans les contenus stomacaux en 2003 alors que ce crustacé est peu fréquent dans les échantillons de zooplancton à partir de juillet (GERDEAUX, 2004). La capture préférentielle de ce grand branchiopode par les poissons résulte soit d'un choix actif, soit d'un recouvrement des localisations spatiales des prédateurs et de leurs proies à certaines périodes comme on peut le voir par exemple de janvier à août 2003.

# 3.1.2 Calanoïdes

Eudiaptomus gracilis est une composante permanente du zooplancton crustacéen, avec deux pics d'abondance, au printemps (457'600 ind/m²) et en fin d'automne (477'200 ind/m²) consécutifs à des phases de reproduction intense (figure 5). Cette population qui avait fortement progressé en 2000 et décliné en 2002, améliore légèrement ses effectifs en 2003, retrouvant des effectifs supérieurs à ceux observés avant 2000 (tableau 4). A la différence des daphnies, on ne peut cependant pas parler d'une dérive de l'abondance maximale en septembre car cette dernière est finalement du même ordre de grandeur que celle enregistrée le 10 juin à la fin du printemps.

Tableau 4 : Evolution de l'abondance des Calanoïdes (Léman, SHL2)

le filet, évitement du filet par ces organismes excellents nageurs.

Table 4: Seasonal changes in the abundance of Calanoid cepopoda (Lake Geneva, SHL2)

| Calanoïdes (ind/m²) | 1997    | 1998    | 1999    | * 2000    | ** 2001 | 2002    | * 2003  |
|---------------------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|---------|
| Moyenne             | 145'500 | 193'500 | 148'500 | * 342'500 |         | 212'200 | 241'100 |
| Maximum             | 753'800 | 413'600 | 600'100 | 680'600   |         | 456'400 | 477'200 |
| (date)              | (21/05) | (02/11) | (13/12) | (23/05)   |         | (12/06) | (29/09) |

<sup>\*</sup> année incomplète \*\* année avec données non disponibles

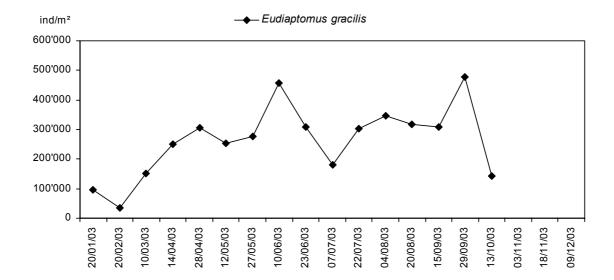


Figure 5 : Evolution saisonnière d'Eudiaptomus gracilis en 2003 (Léman, SHL2)

Figure 5: Seasonal changes in the abundance of Eudiaptomus gracilis in 2003 (Lake Geneva, SHL2)

# 3.1.3 Cyclopoïdes

Les Cyclopoïdes sont essentiellement représentés par le genre *Cyclops*. L'ensemble *C. prealpinus* + *Cyclops* spp. est dominant par rapport à *C. vicinus* (figure 6). Les autres espèces n'ont été observées qu'en zone littorale. L'important essor de *C. prealpinus* au printemps est consécutif à une intense période de reproduction, alors qu'à cette période la levée de la diapause des copépodites IV de *C. vicinus* leur permet de coloniser le domaine pélagique.

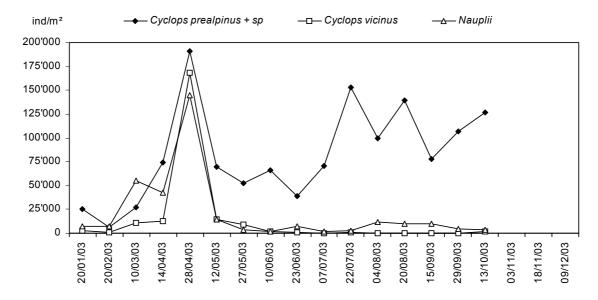


Figure 6 : Evolution saisonnière des Cyclopoïdes en 2003 (Léman, SHL2)

Figure 6: Seasonal changes in the abundance of Cyclopoïda in 2003 (Lake Geneva, SHL2)

En 2003, la population des *nauplii* représente 21'200 ind/m². Ces individus n'ont pas été rattachés à une espèce particulière; il semblerait logique de les rattacher préférentiellement à l'ensemble (*Cyclops prealpinus* + *Cyclops* spp.) en raison de la rareté de *C. vicinus* dans les prélèvements. Cependant un tel rattachement n'a toutefois pas été effectué.

Les Cyclopoïdes sont en augmentation par rapport à l'année précédente, tant en moyenne annuelle qu'en abondance maximale (tableau 5).

Tableau 5 : Evolution de l'abondance des Cyclopoïdes (Léman, SHL2)

Table 5 : Seasonal changes in the abundance of Cyclopoïda (Lake Geneva, SHL2)

| (ind/m²)            | 1997      | 1998    | 1999    | * 2000    | ** 2001 | 2002    | * 2003  |
|---------------------|-----------|---------|---------|-----------|---------|---------|---------|
| Cyclopoïdes         |           |         |         |           |         |         |         |
| Moyenne             | 164'800   | 132'200 | 116'800 | * 199'300 |         | 81'200  | 106'700 |
| Maximum             | 1'002'200 | 348'300 | 391'800 | 1'270'100 |         | 183'600 | 503'700 |
| (date)              | (21/05)   | (20/04) | (26/04) | (09/05)   |         | (17/04) | (28/04) |
| Cyclops vicinus     |           |         |         |           |         |         |         |
| Moyenne             | 96'400    | 14'600  | 10'500  | 120'600   |         | 8'800   | 12'000  |
| Maximum             | 952'500   | 103'000 | 102'900 | 1'088'000 |         | 71'500  | 168'000 |
| (date)              | (21/05)   | (06/05) | (26/04) | (09/05)   |         | (17/04) | (28/04) |
| C. prealpinus + sp. |           |         |         |           |         |         |         |
| Moyenne             | 19'300    | 79'300  | 72'900  | 36'500    |         | 55'700  | 73'600  |
| Maximum             | 76'700    | 290'700 | 219'400 | 64'400    |         | 117'400 | 191'200 |
| (date)              | (23/04)   | (02/11) | (26/04) | (09/05)   |         | (29/05) | (28/04) |
| Autres Cyclopoïdes  |           |         |         |           |         |         |         |
| Moyenne             | 9'800     | 300     | 80      | 600       |         | 40      | 0       |
| Maximum             | 171'400   | 1'600   | 430     | 7'400     |         | 500     | 0       |
| (date)              | (28/10)   | (29/09) | (25/05) | (23/08)   |         | (05/03) |         |
| Nauplii             |           |         |         |           |         |         |         |
| Moyenne             | 39'200    | 38'000  | 33'300  | 41'700    |         | 16'700  | 21'200  |
| Maximum             | 294'700   | 154'000 | 132'300 | 178'200   |         | 74'800  | 144'400 |
| (date)              | (09/04)   | (20/04) | (24/03) | (10/04)   |         | (05/03) | (28/04) |

<sup>\*</sup> année incomplète \*\* année avec données non disponibles

# 3.2 Aperçu sur quelques rotifères

Quelques taxons de rotifères ont été dénombrés dans les prélèvements de zooplancton où ils sont en général plus abondants que dans le filet à phytoplancton (BALVAY et al., 2001). Ce sont des espèces coloniales (*Conochilus unicornis*) ou des individus de grande taille, pérennes (*Asplanchna priodonta*, *Kellicottia longispina*) ou saisonniers (*Notholca caudata*).

Tableau 6 : Evolution de l'abondance des Rotifères (Léman, SHL2)

Table 6 : Seasonal changes in the abundance of Rotifera (Lake Geneva, SHL2)

| ind/m²                    |      | 1996    | 1997   | 1998    | 1999    | * 2000    | ** 2001 | 2002      | * 2003    |
|---------------------------|------|---------|--------|---------|---------|-----------|---------|-----------|-----------|
|                           | Moy  | 31'800  | 9'600  | 27'400  | 17'400  | 15'900    |         | 15'700    | 25'200    |
| Asplanchna<br>priodonta   | Max. | 291'900 | 84'300 | 170'500 | 304'200 | 52'000    |         | 82'500    | 114'300   |
| priodoma                  | date | 06/05   | 21/05  | 20/04   | 02/08   | 17/07     |         | 30/04     | 12/05     |
|                           | Moy. | 42'200  | 600    | 75'500  | 30'100  | 17'200    |         | 35'200    | 75'900    |
| Kellicottia<br>Iongispina | Max. | 382'600 | 5'200  | 369'600 | 187'900 | 145'800   |         | 322'500   | 651'100   |
| longispina                | date | 19/08   | 15/01  | 20/05   | 19/07   | 25/07     |         | 12/06     | 10/06     |
|                           | Moy. | 500     | 0      | 18'400  | 600     | 120'700   |         | 89'900    | 149'400   |
| Conochilus<br>unicornis   | Max. | 6'400   |        | 185'100 | 7'100   | 1'101'400 |         | 1'041'600 | 1'945'600 |
| uniconiis                 | date | 18/03   |        | 04/08   | 05/10   | 12/10     |         | 10/09     | 07/07     |
|                           | Moy. | 300     | 5'700  | 2'500   | 80      | 25        |         | 4'500     | 1'320     |
| Notholca<br>caudata       | Max. | 2'600   | 27'400 | 20'900  | 1'100   | 430       |         | 50'000    | 17'900    |
|                           | date | 06/05   | 08/12  | 02/06   | 26/04   | 10/04     |         | 18/03     | 28/04     |

<sup>\*</sup> année incomplète \*\* année avec données non disponibles

L'abondance moyenne en 2003 varie fortement selon les espèces (tableau 6), avec une succession des pics saisonniers de *N. caudata*, espèce sténotherme d'eau froide (KOSTE, 1978) avec 18'000 ind/m² le 28 avril, *A. priodonta* (114'300 ind/m² le 12 mai), *K. longispina* (651'100 ind/m² le 10 juin) et *C. unicornis* (1'945'600 ind/m² le 7 juillet) (figure 7).

L'évolution interannuelle de l'abondance et des maxima des différentes espèces est également très variable, vraisemblablement en rapport avec les ressources nutritives de ces rotifères, la prédation exercée à leur encontre par les crustacés carnivores et les alevins de poissons. Seule une analyse ultérieure pourrait permettre d'expliciter ces variations.

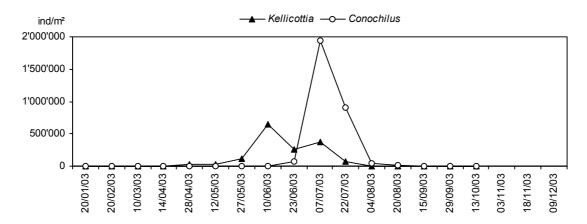


Figure 7 : Evolution saisonnière de quelques rotifères (Léman, SHL2)

Figure 7: Seasonal changes in some Rotifera (Lake Geneva, SHL2)

# 3.3 Autres groupes planctoniques

Les larves véligères de la moule zébrée d'eau douce *Dreissena polymorpha* sont observées généralement de juin à octobre dans les prélèvements. A l'exception de l'année 2000, leur abondance est du même ordre de grandeur que les années précédentes (tableau 7) ; la colonisation maximale du domaine pélagique par cette espèce a été observée en juillet 2003 (figure 8).

Tableau 7: Evolution de l'abondance des larves planctoniques de Dreissena polymorpha (Léman, SHL2)

Table 7 : Seasonal changes in the abundance of the planktonic larvae of the zebra mussel *Dreissena polymorpha* (Lake Geneva, SHL2)

| Dreissena (ind/m²) | 1997    | 1998    | 1999    | * 2000  | ** 2001 | 2002    | * 2003  |
|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Moyenne annuelle   | 3'900   | 2'900   | 1'600   | 19'200  |         | 2'600   | 1'600   |
| Maximum            | 59'700  | 22'400  | 22'000  | 225'100 |         | 19'700  | 16'100  |
| (date)             | (04/08) | (04/08) | (02/08) | (17/07) |         | (19/08) | (22/07) |

<sup>\*</sup> année incomplète \*\* année avec données non disponibles

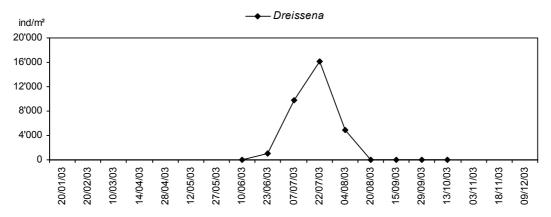


Figure 8 : Evolution saisonnière de Dreissena polymorpha en 2003 (Léman, SHL2)

Figure 8: Seasonal changes in the abundance of the zebra mussel in 2003 (Lake Geneva, SHL2)

# 4. BIOVOLUME SÉDIMENTÉ

# 4.1 Variations saisonnières

Le cycle d'abondance du biovolume sédimenté du zooplancton en 2003 montre toujours des variations saisonnières importantes, de 7.3 ml/m² (20 février) à 322 ml/m² (7 juillet) (figure 9). Deux phases d'abondance apparaissent, en été (322 ml/m² le 7 juillet) et en automne (239 ml/m² le 29 septembre).

Le biovolume sédimenté ne présente pas de maximum printanier net bien que les dénombrements indiquent une abondance saisonnière maximale du zooplancton le 28 avril 2003 qui est composé de stades de petite taille (50 % de *nauplii* et copépodites 1 à 3). Il faut également noter que le zooplancton composé majoritairement de Cyclopoïdes, les Daphnies étant peu nombreuses, n'a pas eu de répercussion sur la transparence des eaux à cette date.

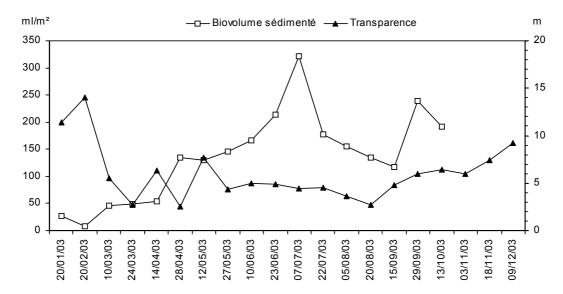


Figure 9: Evolution du biovolume sédimenté et de la transparence des eaux en 2003 (Léman, SHL2)

Figure 9 : Changes in the settled biovolume and Secchi disk transparency values during 2003 (Lake Geneva, SHL2)

Classiquement, l'accroissement de la population des grands branchiopodes herbivores (daphnies) entraîne une consommation accrue du phytoplancton et par conséquent une augmentation importante de la transparence des eaux. La phase des eaux claires qui s'amorçait le 14 avril, a été interrompue le 28 avril en raison de l'abondance du nanophytoplancton (DRUART et *al.*, 2004). Ce n'est que le 12 mai que la transparence augmente nettement, avec la diminution de la biomasse phytoplanctonique mesurée (DRUART et *al.*, 2004) en relation avec un accroissement, toutefois limité, des daphnies (figure 3).

# 4.2 Evolution à long terme

Le maximum absolu du biovolume sédimenté a été observé en 1981 lorsque le Léman était à la fin de sa phase d'eutrophie maximale (figure 10). A partir de 1982, une tendance globale à la diminution est apparue, interrompue de temps à autre par des phases d'accroissement passager de ce biovolume. En 1997, le biovolume sédimenté moyen est de 115 ml/m², en diminution par rapport à celui de 1996 (137 ml/m²) ; il passe à 132 ml/m² en 1998 et revient à 118 ml/m² en 1999. En 2000, le biovolume approché (calculé en l'absence des valeurs de novembre et décembre) est proche de 139 ml/m², surestimé en l'absence des faibles valeurs de la fin de l'année. En 2002, le biovolume sédimenté moyen (91.6 ml/m²) était en nette diminution, mais semble remonter légèrement en 2003. La valeur pour 2003 (moyenne de janvier à octobre : 119.4 ml/m² en 2003 au lieu de 96.7 ml/m² en 2002 durant la même période) est approchée, et certainement surestimée dans la mesure où il a été impossible de quantifier le biovolume sédimenté en novembre et décembre.

# 4.3 Relation phosphore total - zooplancton

Nous avons tenté de continuer la relation entre l'abondance du biovolume sédimenté du zooplancton et les variations de la teneur moyenne annuelle des eaux en phosphore total ( $\mu$ gP/L) (figure 10). Rappelons que les variations simultanées de ces deux paramètres ont montré un parallélisme important jusqu'en 1995 (r = 0.76; N = 39) (BALVAY, 2000). La tendance au maintien du biovolume sédimenté qui avait été observée de 1996 à 2000 en dépit de la diminution des teneurs en P total, a cessé en 2002, l'évolution du biovolume sédimenté retrouvant en 2002 la tendance générale observée jusqu'en 1995 avec des variations parallèles des teneurs en phosphore et du zooplancton sédimenté. En 2003, on constate une augmentation du biovolume sédimenté malgré la baisse de la teneur en P total ; on peut cependant envisager la présence d'un artéfact lié à l'absence des mesures du biovolume en novembre et décembre. La nouvelle corrélation établie de 1959 à 2003 (r = 0.77; N = 45) est restée pratiquement identique à la précédente.

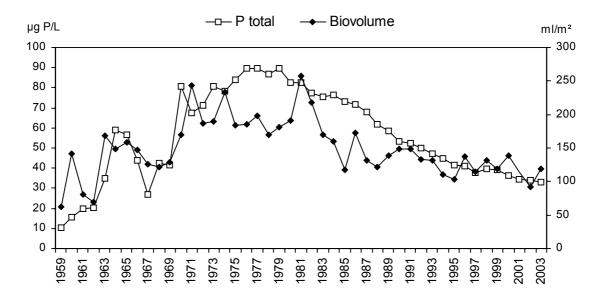


Figure 10 : Evolution des moyennes annuelles en P total et de l'abondance du zooplancton sédimenté (Léman, SHL2)

Figure 10 : Changes in the annual means of total P and the abundance of the settled zooplankton (Lake Geneva, SHL2)

# COMPARAISON DES ANNÉES 2002-2003

2002

Diminution du zooplancton sédimenté.

Deux périodes d'abondance saisonnière des daphnies, au printemps et en été.

Diminution de l'abondance des Branchiopodes et des Cyclopoïdes par rapport aux années précédentes.

Population réduite des Branchiopodes au printemps, d'où la moindre concentration en NH<sub>4</sub> observée par LAZZAROTTO et *al.* (2003) dans les strates superficielles à cette époque.

Chute drastique de l'abondance de *Cyclops vicinus*.

Essor des Bosminidés après leur déclin observé en 2000, globalement plus nombreux que les Daphniidés durant le premier semestre.

Dominance des Calanoïdes dont les effectifs, en diminution par rapport à 2000, retrouvent des abondances comparables à celles antérieures à l'année 2000.

Excellente simultanéité entre l'apparition de la phase des eaux claires, le développement printanier des branchiopodes herbivores et l'abondance réduite du nanophytoplancton.

2003

Augmentation probable, mais non vérifiable, du biovolume sédimenté.

Augmentation de l'abondance maximale et dérive des daphnies en septembre (effet des températures estivales trop élevées ?).

Poursuite de la diminution des Branchiopodes, mais augmentation des Cyclopoïdes.

Dès la mi-avril, essor printanier des Cyclopoïdes et des Calanoïdes et augmentation contemporaine des teneurs en azote ammoniacal (LAZZAROTTO et al., 2004).

Malgré une nette augmentation du maximum saisonnier, les effectifs de *C. vicinus* restent très faibles.

Très importante régression des Bosminidés dont la population peu abondante se limite au printemps et surtout à la fin de l'été.

Cycle saisonnier et abondance d'*Eudiaptomus gracilis* comparables à ceux de 2002.

La simultanéité entre le développement des daphnies, l'augmentation de la transparence et l'abondance minimale printanière du nanophytoplancton, n'apparaît nettement que le 12 mai 2003.

# 6. CONCLUSIONS

Depuis plusieurs années, le fonctionnement du réseau trophique a été souvent perturbé par les importants développements d'algues filamenteuses et de diatomées coloniales, difficilement ingérables par le zooplancton herbivore, phénomène qui est encore apparu en 2003, en particulier durant le dernier trimestre.

Dans ses grandes lignes, l'année 2003 est comparable à 2002, sauf en ce qui concerne une possible augmentation du biovolume sédimenté du zooplancton, la très forte régression des Bosminidés, la faible corrélation des différents facteurs intervenant lors de la phase des eaux claires.

# **BIBLIOGRAPHIE**

- BALVAY, G. (1999): Que sont devenus les rotifères et les entomostracés du Léman depuis l'époque de F.-A. Forel ? In : BERTOLA, C., GOUMAND, C. et RUBIN, J.F. Découvrir le Léman 100 ans après François-Alphonse Forel, Slatkine (éd.), Genève, 253-263.
- BALVAY, G. (2000): Evolution du zooplancton du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1999, 79-90.
- BALVAY, G. (2002): Bref aperçu sur le zooplancton du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2001, 85-88.
- BALVAY, G., DRUART, J.C., LAZZAROTTO, J. et GUICHARD, V. (2001): Suivi de la qualité des eaux du lac d'Annecy 2000. Rapport SILA (éd.) et INRA-Thonon n/ 201-2001, Fascicule 1, 89 p + annexes, fascicule 2, 130 p.
- DRUART, J.C., LEBOULANGER, C. et ROLLAND, A. (2004): Evolution du phytoplancton du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2003, 69-79.
- GERDEAUX, D. (2003): Régime alimentaire des corégones du Léman en milieu pélagique. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2002, 99-105.
- GERDEAUX, D. (2004): Régime alimentaire des corégones du Léman en milieu pélagique. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2003, 93-98.
- KOSTE, W., (1978): Rotatoria. Die Rädertiere Mitteleuropas. Gebrüder Borntraeger (Ed.), Berlin. Tome 1, 673 pp., Tome 2, 472 pp.
- LAZZAROTTO, J., RAPIN, F. et CORVI, C. (2004): 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 2003, 31-58.

# **ANNEXE 1**

# LISTE DES ORGANISMES RENCONTRÉS DANS LE LÉMAN (SHL2 et en zone littorale) EN 2003 LIST OF THE ZOOPLANKTON OBSERVED IN LAKE GENEVA (SHL2 and in the littoral zone) IN 2003

# **ROTIFÈRES**

Brachionidae

Keratella cochlearis K. cochlearis var. hispida Keratella quadrata Keratella tecta Notholca caudata

Trichocercidae

Trichocerca rousseleti

Kellicottia longispina

Gastropodidae

Ascomorpha ovalis

Synchaetidae

Synchaeta lakowitziana Synchaeta oblonga Polyarthra dolichoptera Polyarthra vulgaris Ploesoma truncatum

Asplanchnidae

Asplanchna priodonta

Testudinellidae

Pompholyx sulcata

Conochilidae

Conochilus unicornis

Filiniidae

Filinia terminalis

Collothecidae

Collotheca pelagica Collotheca sp.

Euchlanidae

Euchlanis dilatata \*

Lecanidae

Lecane sp. \*

**MOLLUSQUES** 

Dreissena polymorpha

**CALANOÏDES** 

Eudiaptomus gracilis

**BRANCHIOPODES** (ex CLADOCÈRES)

Sididae

Sida cristallina \*

Daphniidae

Daphnia galeata Daphnia hyalina

D. hyalina var. pellucida

D. hybrides

Daphnia longispina Ceriodaphnia pulchella \*

Ceriodaphnia quandrangula \*

Bosminidae

Bosmina longirostris Eubosmina longispina Eubosmina mixta

Chydoridae

Alona rectangular \*
Alona quadrangularis \*
Acroperus harpae \*
Chydorus sphaericus \*
Eurycercus lamellatus \*
Pleuroxus denticulatus \*

Polyphemidae

Polyphemus pediculus \*
Bythotrephes longimanus

Macrothricidae

Macrothrix laticornis \* lliocryptus sordidus \*

Leptodoridae

Leptodora kindtii

**CYCLOPOÏDES** 

Acanthocyclops viridis Cyclops prealpinus Cyclops vicinus Eucyclops serrulatus \* Macrocyclops albidus \*

<sup>\*</sup> espèces recueillies uniquement en zone littorale

# RÉGIME ALIMENTAIRE DES CORÉGONES DU LÉMAN EN MILIEU PÉLAGIQUE

# WHITEFISH DIET IN THE PELAGIC ZONE OF LAKE GENEVA

Campagne 2003

PAR

# **Daniel GERDEAUX**

Avec la collaboration technique de **Valérie HAMELET**STATION D'HYDROBIOLOGIE LACUSTRE (INRA-UMR/CARRTEL), BP 511, FR - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex

# RÉSUMÉ

Le régime alimentaire de corégones adultes pélagiques a été étudié mensuellement à partir des poissons capturés dans les filets dérivants de la pêche professionnelle en 2003 selon le même protocole depuis 1999. Les corégones mesurent en moyenne 41 cm. La tendance déjà observée pendant les 4 années précédentes se confirme : la part des Daphnies dans le régime alimentaire du corégone diminue. Le grand cladocère prédateur <u>Bythotrephes</u> est une ressource alimentaire prépondérante, car cette espèce est présente la plupart du temps dans les estomacs. Elle est remplacée par <u>Leptodora</u> en été et automne. Les chironomes sont exceptionnellement présents plusieurs mois. Au mois d'août, les corégones ont été pêchés uniquement en zone pélagique proche du littoral. Leur absence de capture au large reste inexpliquée.

# **ABSTRACT**

The diet of adult pelagic whitefish was investigated monthly in fish caught in drift nets by commercial fisheries in 2003, using the same protocol as had been in use since 1999. The mean length of the whitefish was 41 cm. The trend already observed during the 4 previous years was confirmed and the proportion of daphnids in the diet of the Whitefish fell. The main prey of these fish are the predatory cladocera <a href="Bythotrephes">Bythotrephes</a> a species usually found in their stomachs. It was replaced by <a href="Leptodora">Leptodora</a> in the summer and autumn. Unusually, Chironomes were present for several months. During the month of August, Whitefish were only caught in the pelagic zone close to the shore. The fact that they none were caught further from the shore remains unexplained.

# 1. INTRODUCTION

Le fonctionnement global du réseau trophique lacustre dépend principalement des nutriments, du climat, de la biodiversité des espèces présentes et des prédateurs supérieurs que sont les poissons, eux-mêmes prélevés par les pêcheurs. Les nutriments interviennent à la base du réseau comme facteurs de production. Leur effet est prépondérant quand leur concentration est élevée. En eau douce, le phosphore est le facteur limitant cette production. Quant sa concentration revient à des valeurs faibles, l'effet des prédateurs dans le fonctionnement du réseau trophique prend une part qui peut être déterminante.

La concentration en phosphore des eaux du Léman est aujourd'hui proche des valeurs où il est généralement admis que les poissons sont susceptibles d'agir sur le fonctionnement du réseau trophique (MEHNER et al., 2001). Le poisson intervenant par prédation sur le zooplancton modifie indirectement la pression de broutage sur le phytoplancton et donc la dynamique du compartiment phytoplanctonique. Cette hypothèse est vraisemblable, comme l'a démontré le rapport de CRETENOY et al. (1996) et de nombreux articles de synthèse portant sur l'effet du poisson sur les réseaux trophiques lacustres (ANGELI et al., 2001).

Corégones, perches et gardons sont les populations dominantes qui consomment du zooplancton soit toute leur vie, soit une grande partie de leur vie (PONTON, 1986). En consommant préférentiellement les organismes de grande taille comme les Daphnies, les *Leptodora* et les *Bythotrephes*, les poissons favorisent le développement d'un peuplement constitué d'organismes plus petits (KITCHELL et CARPENTER, 1993). La modification de la structure en taille des espèces zooplanctoniques a un impact qualitatif sur le phytoplancton. Les Daphnies sont des organismes filtreurs qui utilisent des ressources alimentaires très variées, algues, protistes. Les *Leptodora* et les *Bythotrephes* sont des prédateurs qui se nourrissent d'autres organismes du zooplancton de préférence.

La zone pélagique héberge principalement les corégones et les gardons. Ces dernières années, la pêche des corégones constitue la majeure partie du tonnage total de la pêche en France (figure 1). Cette espèce est planctonophage pendant toute sa vie. La perche représente en tonnage pêché la seconde espèce. Son régime alimentaire est plus omnivore que celui du corégone. Le gardon est également planctonophage au Léman, mais son importance tend à diminuer. L'étude du régime alimentaire du corégone et du gardon au Léman a été entreprise par la CIPEL en 1999. L'étude est restreinte au seul corégone depuis 2002.

# 2. MÉTHODOLOGIE

Les filets dérivants des pêcheurs étant relevés très tôt en fin de nuit, il est possible d'utiliser leurs captures pour étudier le régime alimentaire des poissons pris par ces filets (PONTON, 1986). La maille des filets est au moins égale à 48 mm de côté. Les études sur le corégone ont montré que la variabilité inter-individuelle est faible et qu'un échantillon de 10 poissons peut être considéré comme représentatif (PONTON, 1986, MOOKERJI et al., 1998, GERDEAUX et al., 2002). Chaque mois durant la période de pêche (janvieroctobre), un échantillon d'estomacs est récolté parmi les poissons capturés par un pêcheur professionnel qui utilise au plus 8 filets de 120 m de long chacun en zone pélagique au large de Séchex (France). En 2003, il n'a pas été possible d'obtenir un échantillon pour le mois d'octobre. En août, les corégones obtenus ont été pêchés proches du littoral et leur taux de vacuité était élevé. Ce mois est donc peu représentatif. En décembre, ils sont pris dans les filets tendus plus près du littoral à proximité des zones de reproduction. Dans la mesure du possible, un nombre suffisant est récolté pour avoir 10 estomacs suffisamment remplis. Les estomacs prélevés sont conservés dans une solution d'éthanol. Le contenu stomacal est extrait au laboratoire et pesé puis placé dans une éprouvette remplie d'eau pour que le volume du mélange soit de 50 ml. Après agitation, un volume est prélevé pour le comptage. Ce volume est ajusté de façon à permettre le dénombrement d'au moins 100 individus d'une catégorie de proies. Le comptage est fait sous une loupe binoculaire dans une cuvette de Dolfuss. Les principales catégories de proies identifiées sont : Copépodes (Cyclopoïdes et Calanoïdes), Cladocères (Bosmines, Daphnies, Leptodora, Bythotrephes), Chironomes (larves et nymphes).

Le volume de chaque catégorie de proies est estimé en multipliant le nombre des proies par un coefficient volumétrique extrait de données bibliographiques ou estimé par assimilation du volume des proies à un volume simple (sphérique ou ellipsoïde) (HYSLOP, 1980). Pour chaque poisson examiné, le pourcentage volumétrique des différentes catégories de proies est calculé.

# 3. RÉSULTATS

# 3.1 Taille des poissons examinés

La taille moyenne des 139 corégones échantillonnés est de 41.3 cm de longueur totale (figure 2). Le plus petit poisson mesurait 33.5 cm, le plus grand 52 cm. La plupart des poissons (80 %) mesuraient de 37 à 44 cm, c'est-à-dire que tous les sujets examinés sont des adultes en 3ème et 4ème année de vie.

# 3.2 Evolution mensuelle du taux de vacuité

Durant l'hiver, les poissons sont moins actifs. En janvier, une majorité de poissons a l'estomac vide. En février, puis mars, cette proportion diminue (figure 3). D'avril à juillet, tous les corégones ont un estomac bien rempli. En août, plus de la moitié des quelques poissons qu'il nous a été possible d'examiner ont l'estomac vide. Par contre, en septembre comme en décembre, la plupart des corégones ont pris de la nourriture. On retrouve un schéma saisonnier déjà observé les années précédentes, excepté pour le mois d'août pendant lequel le pêcheur posait ses filets proches du littoral, ne capturant rien en zone pélagique. Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour expliquer cette situation : i) les poissons situés en zone pélagique n'étaient pas capturables soit pas absence, soit par manque d'activité, ii) les poissons étaient proches du littoral en raison d'un manque de disponibilité de nourriture pélagique.

# 3.3 Composition du régime alimentaire

Les résultats présentés de façon synthétique en pourcentages mensuels sont représentatifs de la variabilité saisonnière (figure 4). Le régime alimentaire du corégone est marqué par une contribution plus importante des chironomes que les années précédentes. Sans tenir compte du résultat du mois d'août, non représentatif, les chironomes sont présents dans les estomacs de façon significative en février, mars, avril et septembre. Les deux grands cladocères prédateurs, *Leptodora* et *Bythotrephes* représentent l'essentiel du bol alimentaire tout au long de l'année, excepté en mars et avril où les daphnies constituent la majorité du contenu stomacal.

La tendance déjà observée l'année dernière se confirme en 2003 : la part des daphnies tend à diminuer dans l'alimentation des corégones au profit de celle des *Bythotrephes* (figure 5). Cette tendance est très nette de janvier à août. En fin d'année, les résultats sont plus fluctuants.

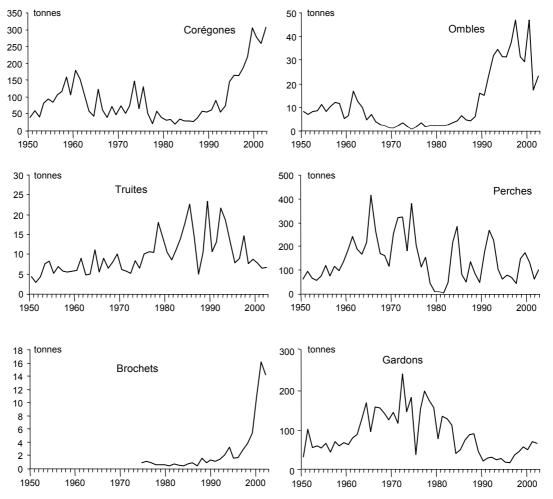


Figure 1 : Evolution de 1990 à 2003 des tonnages de la pêche professionnelle au Léman pour les principales espèces exploitées

Figure 1: Change from 1990 to 2003 in the tonnages of the main species caught by commercial fisheries in Lake Geneva

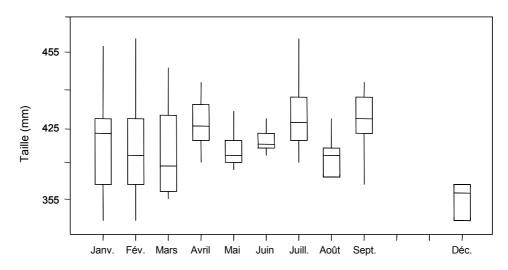


Figure 2 : Répartition des tailles des poissons dont l'estomac a été analysé en 2003. Représentation en "boîte à moustaches" où la ligne au travers de la boîte est au niveau de la médiane, le bas de la boîte est le premier quartile (Q1) et le haut est le troisième quartile (Q3). Les moustaches sont les lignes qui s'étirent du haut et du bas de la boîte jusqu'aux valeurs adjacentes, à savoir la plus petite et la plus grande observation encore comprises dans la zone définie par la limite inférieure Q1 - 1.5 (Q3 - Q1) et par la limite supérieure Q3 + 1.5 (Q3 - Q1)

Figure 2: Distribution of the sizes of fish of which the stomach contents were analyzed in 2003. "Whisker and Box-plot", in which the line through the box is at the same level as the median, the bottom of the box is the first quartile (Q1) and the top is the third quartile (Q3). The whiskers are the lines that extend from the top and bottom of the box to the adjacent values, i.e. the lowest and highest values reported that are still within the zone defined by the lower limit of Q1 - 1.5 (Q3 - Q1) and by the upper limit of Q3 + 1.5 (Q3 - Q1)

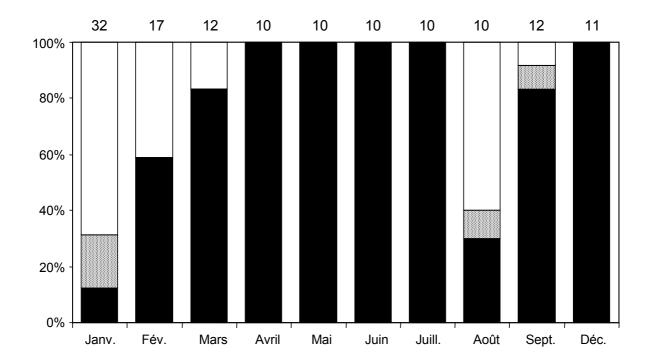


Figure 3 : Evolution mensuelle du taux de vacuité des estomacs analysés de corégones en 2003 au Léman. En noir est représentée la classe des estomacs pleins, en blanc celle des estomacs vides et en grisé celle des estomacs partiellement remplis. Le chiffre porté au dessus de chaque barre représente le nombre d'estomacs prélevés

Figure 3: Monthly change in the degree of emptiness of the whitefish stomachs analyzed in 2003 in Lake Geneva. The full stomachs are shown in black, the empty stomachs in white, and the partially-full stomachs are shown by the hatched area. The number shown above each bar indicates the number of stomachs sampled

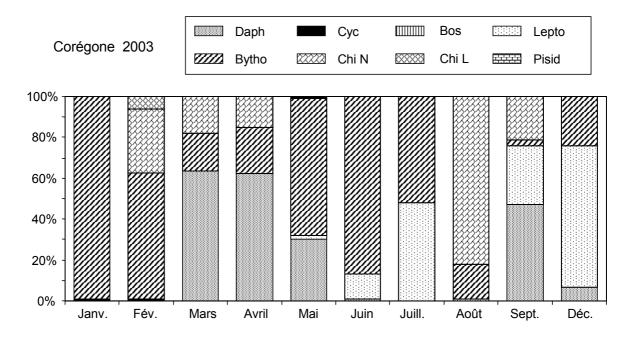


Figure 4 : Evolution mensuelle des pourcentages volumétriques dans les estomacs de corégone en 2003 au Léman

Figure 4: Monthly change in the percentages volume of the prey species in the stomachs of the whitefish in 2003 in Lake Geneva

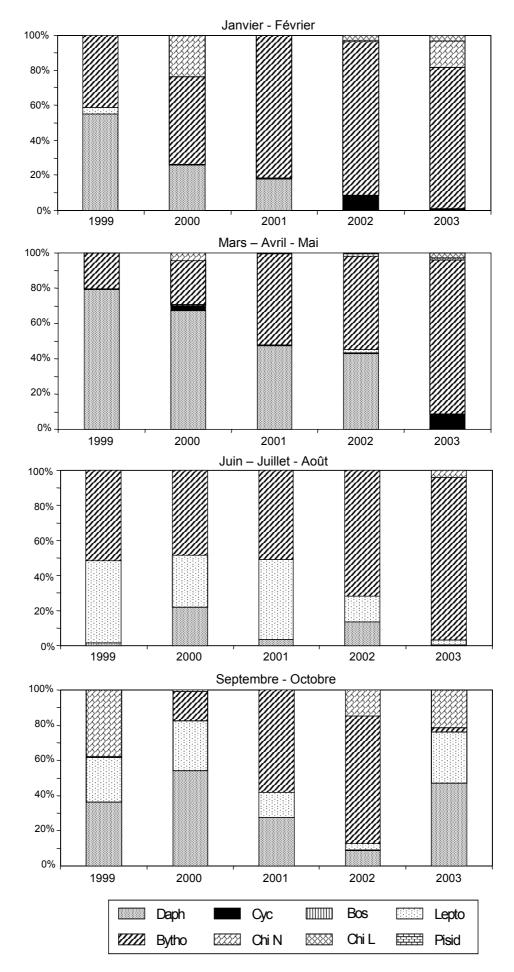


Figure 5 : Evolution saisonnière de 1999 à 2003 des contenus stomacaux du corégone au Léman (pour l'année 2003, le mois d'août n'a pas été pris en compte)

Figure 5: Seasonal changes from 1999 to 2003 in the whitefish stomach contents in lake Geneva (in 2003, the month of August was not taken into account)

# 4. CONCLUSIONS

Les conclusions apportées dans le rapport de la campagne 2002 restent valables pour celles de la campagne 2003. La tendance générale observée les 4 premières années se confirme.

Les 5 années consécutives de données disponibles montrent clairement une tendance à la diminution de la part des Daphnies dans le régime alimentaire du corégone au Léman et l'augmentation de Bythotrephes. La présence occasionnelle de Cyclopoïdes et de Chironomides traduit un manque de proies préférentielles. Les changements observés dans les contenus stomacaux du corégone sont nets et reflètent des changements dans la structure du zooplancton et en conséquence de la pression de broutage sur le phytoplancton. L'interprétation intégrée de ces données biologiques sur le plancton et l'alimentation du corégone est présentée dans la note de synthèse.

**REMERCIEMENT**: Nous tenons à remercier Monsieur Raphaël Jordan, pêcheur professionnel à Séchex, qui nous a facilité le travail de prélèvement des estomacs sur les poissons.

# **BIBLIOGRAPHIE**

- ANGELI, N., CRETENOY, L. et GERDEAUX, D. (2001): Importance du peuplement piscicole dans la qualité des eaux: les biomanipulations. In: Gestion piscicole des grands plan d'eau. D. Gerdeaux (ed.) Hydrobiologie et Aquaculture, INRA Editions, 2001, Paris, 457 p., 35-74.
- CRETENOY, L., GERDEAUX, D., ANGELI, N. et CARANHAC, F. (1996): Eléments pour la prise en compte des populations piscicoles dans le fonctionnement trophique du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1995, 173-185.
- GERDEAUX, D. et HAMELET, V. (2000) : Régime alimentaire des corégones et des gardons du Léman, en milieu pélagique. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1999, 135-140.
- GERDEAUX, D., BERGERET, S., FORTIN, J. et BARONNET, T. (2002): Diet and seasonal patterns of food intake by Coregonus lavaretus in Lake Annecy, comparison with the diet of the other species of the fish community. Archiv für Hydrobiologie 57, (Spec. Iss. Advanc. Limnol.), 199-207.
- HYSLOP, E.J. (1980): Stomac content analysis a review of methods and their application. J.Fish.Biol., 17, 411-429.
- KITCHELL, J.F. et CARPENTER, S.R. (1993): Cascading trophic interactions. In: The trophic cascade in lakes ed., Cambridge studies in ecology. Cambridge University Press, 1-14.
- LUECKE, C., VANNI, M.J., MAGNUSSON, J.J., KITCHELL, J.K. et JACOBSON, P.T. (1990): Seasonal regulation of Daphnia populations by planktivorous fish: Implications for the spring clear-water phase. Limnol. Oceanogr., 35, 1718-1733.
- MEHNER, T., KASPRZAK, P., WYSUJACK, K., LAUDE, U. et KOSCHEL, R. (2001): Restoration of a stratified lake (Feldberger Haussee, Germany) by a combination of nutrient load reduction and long-term biomanipulation. International Review of Hydrobiology, 86(2), 253-265.
- MOOKERJI, N., HELLER, C., MENG, H.J., BURGI, H.R. et MULLER, R. (1998): Diel and seasonal patterns of food intake and prey selection by *Coregonus* sp. in re-oligotrophicated Lake Lucerne, Switzerland. J. of Fish Biol., 52 (3), 443-457.
- PONTON, D. (1986): Croissance et alimentation de deux poissons planctonophages du lac Léman: le corégone (*Coregonus* sp.) et le gardon (*Rutilus rutilus*). Thèse Université Lyon 1, 156 pages + annexes.

# RÉPONSES DES COMMUNAUTÉS BENTHIQUES DU LÉMAN À L'AMÉLIORATION DE L'ÉTAT TROPHIQUE DU LÉMAN ENTRE 1983 ET 2003

# RESPONSES OF THE BENTHIC COMMUNITIES IN LAKE GENEVA TO THE IMPROVED TROPHIC STATE OF THE LAKE BETWEEN 1983 AND 2003

Campagne 2003

**PAR** 

# **Brigitte LODS-CROZET et Olivier REYMOND**

SERVICE DES EAUX, SOLS ET ASSAINISSEMENT DU CANTON DE VAUD Ch. des Boveresses 155, CH - 1066 EPALINGES

# RÉSUMÉ

En 2003, la faune benthique des sédiments du Léman a été étudiée selon le même plan d'échantillonnage qu'en 1983 afin d'évaluer l'évolution de l'état biologique des sédiments en réponse à la baisse du phosphore dans l'eau. La composition des communautés de vers oligochètes et des larves de chironomidés a été analysée sur 149 stations en 2003 dont 135 sont comparables avec celles de 1983, dans les parties centrale et occidentale du Grand Lac entre 18 et 309 m de profondeur. L'abondance relative des espèces d'oligochètes à tendance oligotrophe augmente significativement entre 18 et 200 m de fond. Elle est peu marquée en-dessous avec toutefois des signes d'évolution positive. De même, l'évolution est nette pour les chironomidés qui recolonisent l'ensemble du lac jusqu'à 275 m de fond. L'accroissement de l'abondance des espèces du zoobenthos à tendance oligo- à mésotrophe indique clairement que l'état biologique des sédiments s'est amélioré ces 20 dernières années.

# **ABSTRACT**

In 2003, the benthic fauna in the sediments of Lake Geneva were investigated following the same sampling plan as in 1983 in order to determine the change in the biological state of the sediments in response to the lower levels of phosphorus in the water. The composition of the communities of oligochete worms and chironomid larvae was analyzed at 149 stations in 2003, 135 of which were the same as those used in 1983, which were located in the central and western part of the Grand Lac between depths of 18 and 309 m. The relative abundance of the oligochete species displaying an oligotrophic tendency increased significantly between the depths of 18 and 200 m, but showed little increase thereafter. Similarly, the change was obvious for the chironomids, which are recolonizing the entire lake down to a depth of 275 m. The increasing abundance of the zoobenthic species displaying an oligo- to mesotrophic tendency clearly indicates that the biological state of the sediment strata has improved over the past 20 years.

# 1. INTRODUCTION

Depuis le début des années 1980, les concentrations en phosphore diminuent régulièrement dans l'eau du Léman en raison des mesures d'assainissement prises dans le bassin versant (LAZZAROTTO et al., 2003). La faune de fond ou zoobenthos est exposée aux variations des conditions de milieu, tant au travers du cycle des nutriments qu'au niveau des teneurs en oxygène dissous. Comme les invertébrés benthiques ont généralement de longs cycles de vie, les conséquences de perturbations ponctuelles ou chroniques sont intégrées au niveau de la distribution, la fréquence et/ou de la diversité du zoobenthos. La faune benthique du Léman, et plus particulièrement les vers oligochètes et les larves de chironomidés, sont connus depuis le début du siècle dernier grâce aux travaux de FOREL (1904), PIGUET et BRETSCHER (1913), ZEBROWSKA (1914), JUGET (1958; 1967) et peuvent servir de référence pour apprécier les changements survenus ces trente dernières années dans l'état trophique du Léman. L'abondance des espèces benthiques sensibles à l'augmentation de la sédimentation organique et à la reduction des concentrations en oxygène dissous au niveau de l'interface eau-sédiment a fortement régressé entre 1957 et 1980. Puis, suite à la baisse des concentrations en phosphore, les peuplements benthiques du Léman ont répondu de

manière différée dans le temps et la profondeur. A 40 m de profondeur par exemple, l'abondance relative des espèces d'oligochètes indicatrices de conditions oligotrophes est passée de 17 % en 1982 à 41 % en 1991, puis 44 % en 1996 (LANG, 1998). A 150 m de fond, ces espèces ne représentaient que le 9 % des vers en 1983, mais le 24 % en 1990 et le 30 % en 1998 (LANG, 1999).

Les buts de cette étude sont de comparer la structure des communautés benthiques profondes entre 1983 et 2003 après 20 ans de baisse régulière du phosphore et d'établir un diagnostic sur l'état biologique des sédiments à différentes profondeurs.

# 2. STATIONS ET MÉTHODES

En 2003, 149 stations ont été échantillonnées dans les parties centrale et occidentale du Grand Lac, basé sur le même plan d'échantillonnage que celui réalisé en 1983 (LANG et CORDEY, 1983). Il a été établi de manière à couvrir uniformément l'ensemble du Grand Lac et est basé sur une grille de 1.5 km de côté (figure 1). Les stations, localisées au moyen d'un récepteur GPS, ont été échantillonnées entre le 2 mai et le 12 juin 2003 à l'aide d'un carottier (30 cm de long, 16 cm²) descendu depuis la surface à l'extrémité d'un câble.

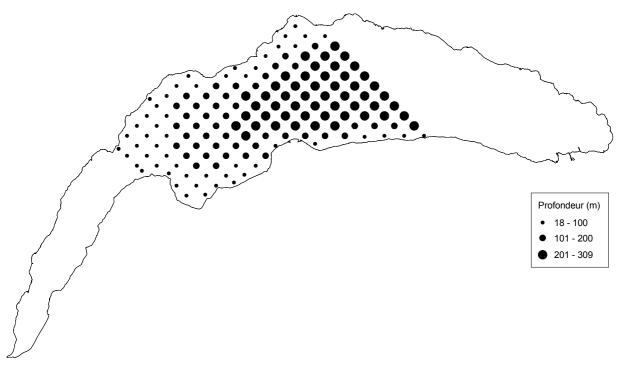


Figure 1 : Localisation des 149 stations échantillonnées en 2003 par zone de profondeur Figure 1 : Location of the 149 stations sampled in 2003 according to their depth zone

En laboratoire, chaque carotte de sédiment est décrite par l'épaisseur de 3 couches principales :

- i) la fine couche brune de sédiment oxydé,
- ii) la couche intermédiaire noire de sédiment réduit, qui peut être considéré comme un descripteur de déposition organique (HAKANSON et JANSSON, 1983) et
- iii) la couche compacte d'argile grise.

Le sédiment est ensuite tamisé (vide de maille 0.2 mm) et le refus du tamis est conservé au formol 5 %. La macrofaune récoltée est constituée principalement de vers oligochètes (lumbriculidés et tubificidés) et de larves et pupes d'insectes chironomidés. Après coloration au Rose Bengal, les organismes sont triés et comptés sous une loupe binoculaire à faible grossissement (6x). Les oligochètes et chironomidés sont ensuite pesés après passage sur du papier absorbant (biomasse, poids frais). Les vers oligochètes de diamètre > 0.3 mm et les chironomidés sont ensuite montés entre lame et lamelle (REYMOND, 1994) puis identifiés à l'espèce ou au groupe d'espèces.

En 1983, 135 stations correspondaient au même plan d'échantillonnage et la campagne de prélèvements s'était déroulée entre le 17 mai et le 20 juin. Dans chaque station, le sédiment a été remonté à la surface à l'aide d'une benne Shipek et le prélèvement de faune benthique s'est fait à partir d'une carotte de sédiment de 16 cm² prise à l'intérieur de la benne (voir LANG et CORDEY, 1983 pour les méthodes). De plus, en 1983, les chironomidés ont été comptés dans chaque carotte, mais n'ont pu être identifiés que dans un échantillon composite basé sur 199 stations (ensemble du Grand Lac).

La comparaison quantitative des résultats 1983-2003 s'est effectuée sur les 135 stations échantillonnées au cours de ces 2 campagnes.

Certaines espèces ou groupes d'espèces de vers oligochètes et chironomidés sont connus comme sensibles à la déposition organique et au manque d'oxygène dissous et peuvent être considérés comme intolérants à la pollution (LANG, 1990; SAETHER, 1979). L'abondance relative moyenne des espèces d'oligochètes à tendance oligotrophe (ARO) correspond au nombre total d'individus de ces espèces récoltés dans tous les échantillons divisé par le nombre total d'oligochètes. ARO est ensuite comparé aux valeurs de référence définies par LANG (1990) : ARO est égal à zéro si les conditions sont celles d'un milieu eutrophe, les valeurs de ARO varient entre 1 et 17 % dans un milieu méso-eutrophe, entre 18 et 52 % dans un milieu mésotrophe, entre 52 et 69 % dans un milieu oligo-mésotrophe et dépasse 69% dans un milieu oligotrophe.

L'abondance relative moyenne prédite (AROP) peut être estimée à partir des concentrations moyennes  $(mg/m^3)$  en phosphore total (Ptot) mesurées dans l'eau du lac au cours des 5 années précédant le prélèvement de zoobenthos (LANG, 1990) : AROP = 80.29 - 8.35 Ptot  $^{0.5}$  ( $r^2$  = 0.81, r = 15).

Cette relation empirique est basée sur 15 campagnes effectuées dans 6 lacs d'Europe et 3 lacs d'Amérique du Nord. Les concentrations moyennes de phosphore total sur 5 ans sont utilisées car le zoobenthos ne réagit pas immédiatement à une variation de ce nutriment (LANG, 1998). Si la valeur moyenne de ARO observée dans une série de prélèvements est inférieure à la valeur prédite (AROP), cela signifie que la restauration biologique du sédiment est décalée par rapport à l'état trophique indiqué par le phosphore total.

Pour les chironomidés, SAETHER (1979) a défini 15 communautés d'espèces caractéristiques de la zone profonde des lacs selon un gradient d'eutrophisation. L'association ainsi que la fréquence d'espèces caractéristiques permet ainsi d'apprécier l'état trophique du lac.

Pour comparer plus en détail les communautés benthiques, les résultats seront aussi interprétés en classant les stations en 3 zones de profondeur :

18-100 m, mov. 58.6 m;

101 - 200 m, moy: 146.5 m;

201 - 309 m, moy: 268.8 m.

# 3. RÉSULTATS

# 3.1 Fréquence, répartition spatiale et bathymétrique des espèces

En 2003, les vers oligochètes et les larves de chironomidés sont respectivement présents dans 129 et 72 stations sur 149 échantillonnées (figure 2). La comparaison globale des stations montre que les principales espèces de vers oligochètes sont présentes pendant les 2 campagnes d'étude (tableau 1). La fréquence des espèces intolérantes à la pollution augmente de manière significative en 2003 (test du Khi²; p < 0.05) (figure 3) alors que celle des espèces comme *Potamothrix hammoniensis*, *P. heuscheri* et *Tubifex tubifex* diminuent (test du Khi²; p < 0.05). *Bichaeta sanguinea* et *Potamothrix moldaviensis*, considérés comme absents en 1983 ont cependant pu passer inaperçus du fait de la petite taille du premier et de la confusion possible avec les *Limnodrilus* immatures pour le second. La colonisation des sédiments plus profonds que 100 m est nette pour *Embolocephalus velutinus* et surtout pour *Potamothrix vejdovskyi* (test du Khi²; p < 0.05) (figures 4 et 5).

La faune des chironomidés s'est enrichie de plusieurs taxons, dont deux sont caractéristiques de milieux oligotrophes. Leur fréquence a également augmenté de manière significative en 2003 (test du Khi²; p < 0.05). Confinés en 1983 principalement entre le delta de la Dranse et Lugrin, leur répartition s'est largement étendue sur la partie occidentale du Grand Lac (figure 6). La profondeur maximale de colonisation reste du même ordre de grandeur si l'on considère le niveau de la famille (seule information disponible en 1983 car espèces déterminées en bloc).

Quelques rares mollusques <sup>1</sup> sont présents dans les sédiments en 2003 (pas de données pour 1983). Il s'agit de trois espèces caractéristiques de la zone profonde des lacs (tableau 1).

# 3.2 Densité et biomasse

La densité moyenne des oligochètes diminue entre 1983 et 2003 en passant de 9'185 à 5'907 ind/m<sup>2</sup> (figure 7); la différence n'est pas significative (test de Mann-Whitney, p = 0.234). Pour les chironomidés, l'augmentation de la densité est particulièrement nette et significative (test de Mann-Whitney, p = 0.000).

En considérant la densité moyenne des oligochètes par zone de profondeur (figure 8), on constate que la diminution des densités est nette et significative (test de Mann-Whitney, p = 0.005) pour la zone 18 - 100 m de profondeur, mais pas significative dans les plus grandes profondeurs.

La biomasse totale des invertébrés benthiques a tendance à augmenter entre 1983 et 2003 (test de Mann-Whitney, p = 0.000). Cet accroissement pourrait s'expliquer par la plus forte densité des chironomidés, qui représentent le tiers de la biomasse totale en 2003 (figure 9) et par l'augmentation des individus d'oligochètes de plus grande taille.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Identification par P. Stucki, Bureau Aquarius, CH - 2001 Neuchâtel

# 3.3 Evaluation trophique basée sur les communautés benthiques

Les espèces d'oligochètes indicatrices de conditions oligotrophes sont présentes dans 55.8 % des prélèvements en 2003 (31.8 % en 1983) (tableau 1). L'abondance relative moyenne des oligochètes à tendance oligotrophe (ARO) s'élève à 24.3 % (9.8 % en 1983). Les différences observées sont significatives (test de Mann-Whitney, p = 0.000).

Cette abondance relative observée en 2003 reste un peu inférieure à la valeur prédite (AROP) (29.7 %) à partir des concentrations en phosphore total dans l'eau (voir § 2 : Stations et méthodes).

En considérant ARO par zone de profondeur (figure 10), on observe que les conditions de vie pour les oligochètes se sont nettement améliorées entre 18 et 200 m (différences significatives, test de Mann-Whitney, p = 0.001 pour 18 - 100 m et p = 0.020 pour 101 - 200 m), mais qu'elles ont peu évolué au-dessous de 200 m de profondeur (différences non significatives, test de Mann-Whitney, p = 0.667).

Le Léman est donc passé d'un stade méso-eutrophe sur l'ensemble du lac en 1983, à un stade mésotrophe. Les couches très profondes (> 200 m) restent cependant de moins bonne qualité du fait en particulier de la plus forte sédimentation organique dans cette partie du lac (figure 11) et de la circulation incomplète des eaux.

Pour la faune des chironomidés, l'évolution est également nette ces 20 dernières années. En effet, l'association de 6 espèces (ou groupe d'espèces) indicatrices définie par SAETHER (1979) (cf. tableau 1) caractérise globalement le lac comme oligo-mésotrophe. En tenant compte des différentes zones de profondeur, les communautés de chironomidés reflètent des conditions oligo-mésotrophes entre 18 et 200 m puis mésotrophes jusqu'à 275 m, profondeur limite de la colonisation par *Micropsectra notescens* gr. et *Tanytarsus spp*.

# 4. DISCUSSION

La structure des communautés benthiques du Léman observée en 2003 s'est significativement modifiée par rapport à celle de 1983. L'accroissement de l'abondance des espèces du zoobenthos à tendance oligo-à mésotrophe indique clairement que l'état biologique des sédiments s'est amélioré ces 20 dernières années. Toutefois, la restauration ne parvient pas encore dans les très grandes profondeurs où l'indice oligochètes ARO n'atteint que 13 % entre 201 et 309 m, donc plutôt caractéristique de conditions méso-eutrophes. Entre 270 et 309 m, les fonds abritent principalement des espèces d'oligochètes résistantes au manque d'oxygène comme Limnodrilus hoffmeisteri, Potamothrix hammoniensis et Tubifex tubifex

Il faut toutefois noter que *Potamothrix vejdovskyi*, espèce considérée comme plus sensible que les précédentes et apparue dans le lac après 1913 (PIGUET et BRETSCHER, 1913), puis trouvée par JUGET (1967) jusqu'à 150 m de profondeur, a maintenant élargi sa zone de répartition vers les grands fonds ; elle a été trouvée en 2003 à 300 m de profondeur au large du delta de la Dranse. De plus, des larves de *Micropsectra notescens* gr. ont été observées dans cette même zone à 275 m de profondeur en 2003 et en 1983 (LODS-CROZET et LACHAVANNE, 1994). La proximité du delta de la Dranse pourrait favoriser une moindre déposition organique et une meilleure minéralisation des sédiments dues aux mélanges des eaux et aux courants engendrés. Cette région pourrait ainsi constituer une zone à forte potentialité dans la recolonisation des grands fonds lorsque les conditions d'oxygénation et de minéralisation des sédiments seront en accord avec les exigences biologiques de certaines espèces benthiques.

D'autres éléments confirment cette amélioration de la qualité des sédiments entre 1983 et 2003 :

- la diminution de la densité totale des oligochètes entre 18 et 100 m, signe d'une moins grande productivité du système,
- la fréquence et l'augmentation de la profondeur de colonisation (de 200 à 300 m) de Embolocephalus velutinus, espèce d'oligochète la plus fréquente vers 1900 dans le lac oligotrophe (PIGUET et BRETSCHER, 1913; LANG, 1998). De plus sa fréquence est passée de 7 % à 150 m de fond en 1998 (LANG, 1999) à 9 % entre 101 et 200 m de fond en 2003,
- la réapparition de Paracladopelma nigritula, espèce de chironomidés caractéristique de lacs oligotrophes (SAETHER, 1979) et absente du lac depuis les années 1960 (JUGET, 1967; LODS-CROZET et LACHAVANNE, 1994). Ces 2 espèces seraient donc des indicateurs appropriés pour suivre l'amélioration du lac.

Ainsi, l'intérêt de ces deux groupes d'invertébrés benthiques dominants dans les sédiments réside dans le fait qu'ils ont des préférences biologiques différentes : les larves de chironomidés se nourrissent à la surface du sédiment et ont un régime alimentaire varié (algues et détritus fraîchement sédimentés, bactéries et invertébrés), tandis que les oligochètes sont plutôt inféodés aux sédiments, se nourrissant principalement de bactéries et de matière organique. Leur comportement de reproduction est également distinctif; les oligochètes se reproduisent à l'intérieur du sédiment alors que les chironomidés effectuent une partie de leur cycle de vie à l'air libre et déposent leurs œufs à la surface de l'eau (JOHNSON et WIEDERHOLM, 1992; GOEDKOOP et JOHNSON, 1993). Ainsi, ils n'auront pas forcément la même réponse aux changements environnementaux. En cas de restauration dans un lac après une phase d'eutrophisation, les communautés d'oligochètes semblent maintenir leur structure pendant une plus longue période que les chironomidés (WIEDERHOLM, 1980; LANG, 1998).

La persistance de faibles teneurs en  $O_2$  dissous ( $\le$  4 mg/L) dans la plaine centrale du lac (300 - 309 m) liées à une circulation incomplète des eaux depuis 17 ans ne facilite pas une restauration rapide des sédiments profonds et de leur faune associée malgré une diminution régulière des apports en phosphore depuis une vingtaine d'années. L'amélioration très nette de l'état biologique des sédiments, d'abord dans les faibles profondeurs (40 m) au début des années 1990 (LANG, 1998), puis jusqu'à 150 m en 1998 (LANG, 1999) et jusque vers 200 m en 2003, est encourageante et s'inscrit dans les objectifs du plan d'action 2001 - 2010 pour le Léman. Le maintien d'un suivi du zoobenthos est donc indispensable, au minimum dans trois zones de profondeur : 40, 150 et 300 m.

Ces résultats montrent que les communautés benthiques (vers oligochètes et larves de chironomidés) constituent un outil pertinent pour apprécier l'évolution trophique à long terme d'un grand lac profond.

**REMERCIEMENTS**: L'aide sur le terrain des gardes-pêche Laurent Cavallini, Luc Jacquemettaz et Philippe Tavel nous a permis de mener à bien ce travail.

# **BIBLIOGRAPHIE**

- FOREL, F. A. (1904): Le Léman. Monographie limnologique. vol 3. Slatkine Reprints, 715 p.
- GOEDKOOP, W. et JOHNSON, R.K. (1993): Modelling the importance of sediment bacterial carbon for profundal macroinvertebrates along a lake nutrient gradient. Netherlands Journal of Aquatic Ecology, 26, 477-483.
- HAKANSON, L. et JANSSON, M. 1983. Principles of lake sedimentology. Springer-Verlag, 316 pp.
- JOHNSON, R. K. et WIEDERHOLM, T. (1992): Pelagic-benthic coupling The importance of diatom interannual variability for population oscillations of *Monoporeia affinis*. Limnology and Oceanography, 37, 1596-1607.
- JUGET, J. (1958): Recherches sur la faune de fond du Léman et du lac d'Annecy. Hydroécologie appliquée, 7, 7-95.
- JUGET, J. (1967) : La faune benthique du Léman: modalités et déterminismes écologiques du peuplement. Université de Lyon, 360 pp.
- LANG, C. (1990): Quantitative relationships between oligochaete communities and phosphorus concentrations in lakes. Freshwater Biology, 24, 327-334.
- LANG, C. (1998): Using oligochaetes to monitor the decrease of eutrophication: the 1982-1996 trend in Lake Geneva. Archiv für Hydrobiologie, 141, 447-458.
- LANG, C. (1999): Evolution de l'état trophique du Léman entre 1990 et 1998 indiquée par les communautés de vers présentes à 150 m de profondeur. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1998, 101-110.
- LANG, C. et CORDEY, G. (1983): Eutrophisation du Léman en 1978 et 1983 évaluée à partir des communautés de vers. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1983, 56-62.
- 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.
- LODS-CROZET, B. et LACHAVANNE, J.B. (1994): Changes in chironomid communities in Lake Geneva in relation with eutrophication, over a period of 60 years. Archiv für Hydrobiologie, 130, 453-471.
- PIGUET, E. et BRETSCHER, K. (1913) : Oligochètes. Catalogue des invertébrés de la Suisse, Fascicule 7, Genève, 215 pp.
- REYMOND, O. (1994): Préparations microscopiques permanentes d'oligochètes : une méthode simple. Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles, 83, 1-3.
- SAETHER, O. A. (1979): Chironomid communities as water quality indicators. Holarctic Ecology, 2, 65-74.
- WIEDERHOLM, T. (1980): Use of benthos in lake monitoring. Journal Water Pollution Control Federation, 52, 537-547.
- ZEBROWSKA, A. (1914) : Recherches sur les larves de Chironomides du Léman. Dissertation, Université de Lausanne, 59 pp.

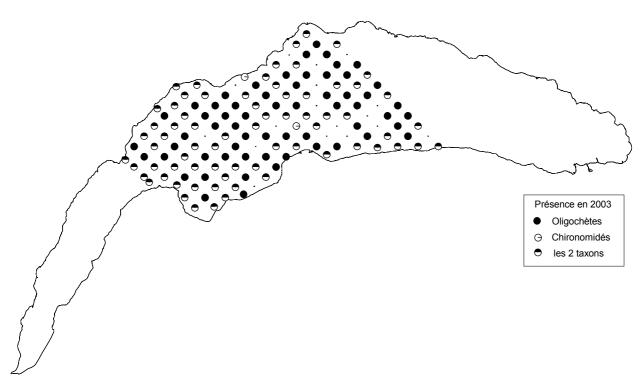


Figure 2 : Présence des vers oligochètes et larves de chironomidés dans les stations en 2003 (point sans cercle : absence d'oligochètes et de chironomidés)

Figure 2: Presence of oligochete worms and chironomid larvae at the stations in 2003 (a dot with no ring round it indicates that no oligochetes or chironomids were found)

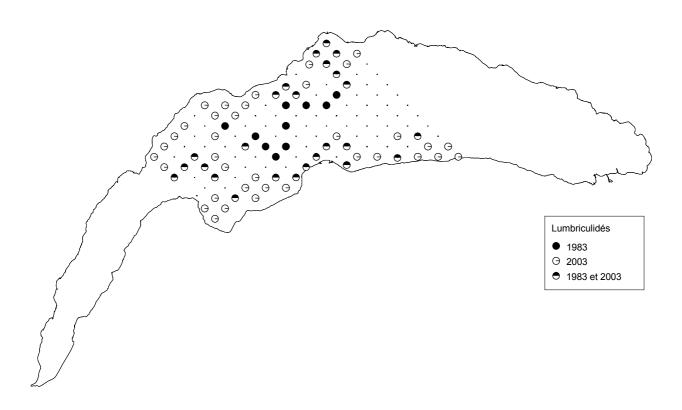


Figure 3 : Présence des oligochètes Lumbriculidés (intolérants à la pollution) dans 135 stations en 1983 et 2003 (point sans cercle : absence d'oligochètes lumbriculidés)

Figure 3 : Presence of Lumbriculid oligochetes (does not tolerate pollution) at 135 stations in 1983 and 2003 (a dot with no ring round it indicates that no lumbriculid oligochetes were found)

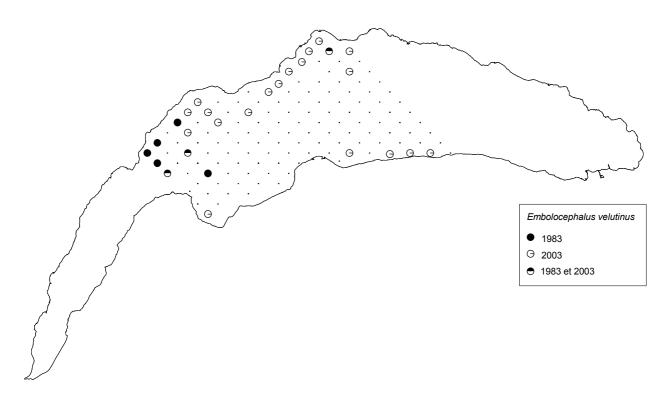


Figure 4 : Présence de *Embolocephalus velutinus* dans 135 stations en 1983 et 2003 (point sans cercle : absence *Embolocephalus velutinus*)

Figure 4 : Presence of *Embolocephalus velutinus* at 135 stations in 1983 and 2003 (a dot with no ring round it indicates that no *Embolocephalus velutinus* were found)

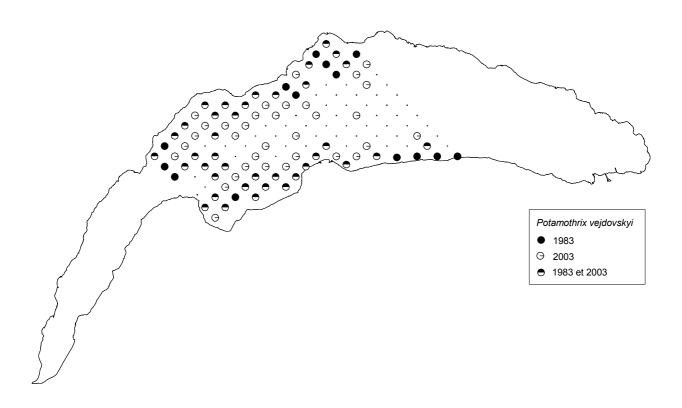


Figure 5 : Présence de *Potamothrix vejdovskyi* dans 135 stations en 1983 et 2003 (point sans cercle : absence *Potamothrix vejdovskyi*)

Figure 5 : Presence of *Potamothrix vejdovskyi* at 135 stations in 1983 and 2003 (a dot with no ring round it indicates that no *Potamothrix vejdovskyi* were found)

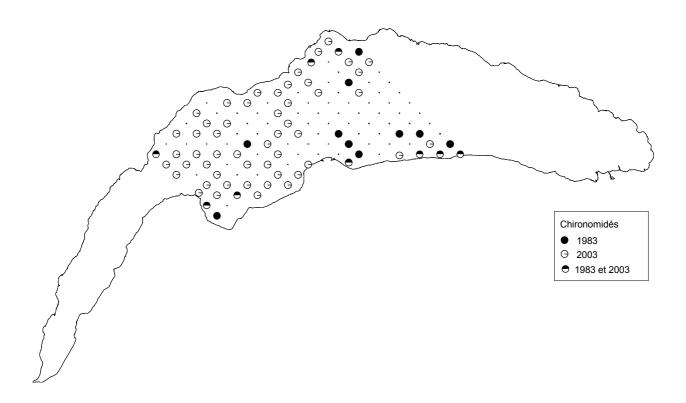


Figure 6 : Présence des chironomidés dans 135 stations en 1983 et 2003 (point sans cercle : absence des chironomidés)

Figure 6: Presence of chironomids at 135 stations in 1983 and 2003 (a dot with no ring round it indicates that no chironomids were found)

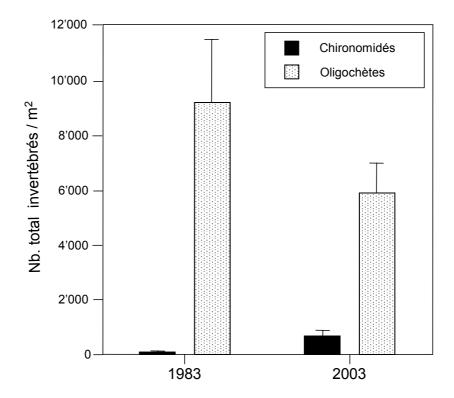


Figure 7 : Densité totale des invertébrés benthiques ± IC 95% dans 135 stations du Léman en 1983 et 2003

Figure 7 : Total density of benthic invertebrates  $\pm$  95% CL at 135 stations of Lake Geneva in 1983 and 2003

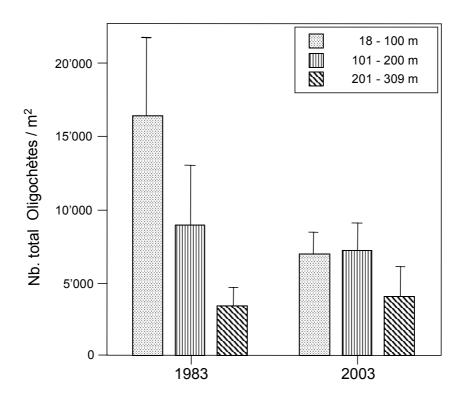


Figure 8 : Densité totale des oligochètes ± IC 95% par zone de profondeur dans 135 stations du Léman en 1983 et 2003

Figure 8 : Total density of oligochetes  $\pm$  95% CL per depth zone at 135 stations of Lake Geneva in 1983 and 2003

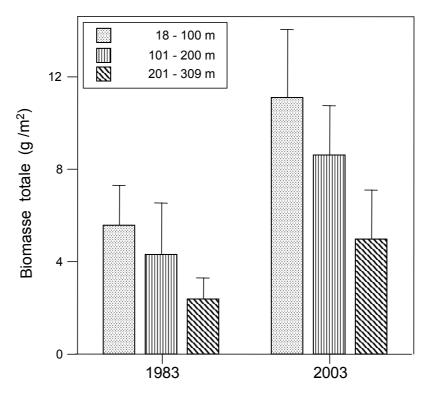


Figure 9 : Biomasse totale des invertébrés benthiques  $\pm$  IC 95% par zone de profondeur dans 135 stations du Léman en 1983 et 2003.

Figure 9 : Total biomass of the benthic invertebrates ± 95% CL per depth zone at the 135 stations of Lake Geneva in 1983 and 2003

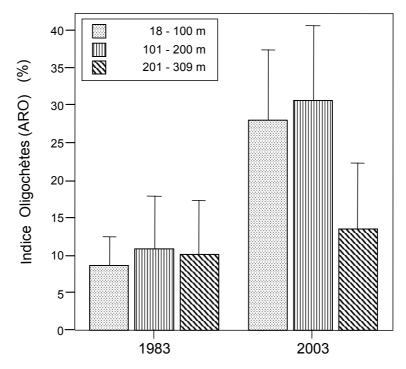


Figure 10 : Abondance relative des oligochètes à tendance oligotrophe (ARO) ± IC 95% par zone de profondeur dans 135 stations du Léman en 1983 et 2003

Figure 10: Relative abundance of the oligochetes with an oligotrophic tendency (ARO) ± 95% CL per depth zone at 135 stations of Lake Geneva in 1983 and 2003

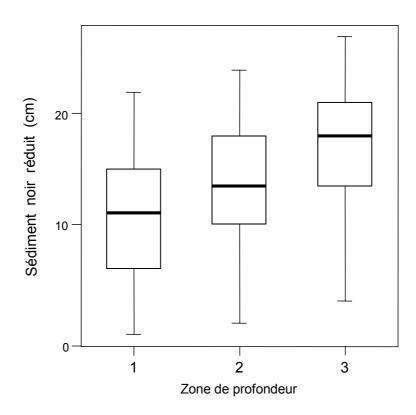


Figure 11: Boxplots décrivant l'épaisseur de la couche de sédiment noir réduit dans les carottes par zone de profondeur (1 : 18 - 100 m; 2 : 101 - 200 m; 3 : 201 - 309 m) en 2003.Les rectangles décrivent l'intervalle interquartile (Q25 - Q75) autour de la médiane (ligne noire). Les lignes s'étendent jusqu'aux valeurs adjacentes définies comme : Q25 - 1.5(Q75-Q25) et Q75 + 1.5(Q75-Q25)

Figure 11: Boxplots describing the thickness of the layer of black sediment in the cores per depth zone (1:18-100 m; 2:101-200 m; 3:201-309 m) in 2003. The median, the inquartile interval (Q25-Q75) and the min-max values Q25-1.5(Q75-Q25) and Q75+1.5(Q75-Q25) are shown

Tableau 1 : Présence, fréquence et profondeur maximum de colonisation des oligochètes et chironomidés récoltés dans le Léman

L: Lumbriculidés; T: Tubificidés; +: présence; /: absence; nd: donnée non disponible

o : intolérant à la pollution; i : espèce indicatrice selon SAETHER (1979)

Table 1 : Presence, frequency and maximum depth of colonization of oligochaete and chironomid harvested in Lake Geneva

L:Lumbriculids; T:Tubificids; +:present; /:absent; nd:no data available

o : does not tolerate pollution; i : indicator species according to SAETHER (1979)

|   |   |   | Fréque | nce (%) | Profonde | ur max (m) |
|---|---|---|--------|---------|----------|------------|
|   |   |   | 1983   | 2003    | 1983     | 2003       |
|   |   | OLIGOCHAETA                                   | 88.1   | 87.2    |          |            |
| 0 | L | Bichaeta sanguinea Bretscher                  | 1      |         | 1        | 255        |
| 0 | L | Stylodrilus heringianus Claparède             | 25.0   | 39.0    | 264      | 255        |
| 0 | L | Stylodrilus lemani (Grube)                    | 25.9   |         | 264      | 255        |
| 0 | Т | Embolocephalus velutinus (Grube)              | 5.9    | 16.8    | 105      | 232        |
|   | Т | Spirosperma ferox (Eisen)                     | 5.2    | 6.0     | 70       | 73         |
|   | Т | Potamothrix vejdovskyi (Hrabe)                | 38.5   | 53      | 200      | 300        |
|   | Т | Potamothrix moldaviensis (Vejdovsky & Mrazek) | 1      | 3.4     | 1        | 141        |
|   | Т | Psammoryctides barbatus (Grube)               | 1.0    | 1.3     | 52       | 65         |
|   | Т | Limnodrilus udekemianus Claparède             | 1      |         | 1        | 100        |
|   | Т | Limnodrilus hoffmeisteri (Claparède)          |        | 40.0    | 163      | 300        |
|   | Т | Limnodrilus profundicola (Verrill)            | 33.3   | 43.6    | 230      | 262        |
|   | Т | Limnodrilus (juveniles)                       |        |         | 271      | 275        |
|   | Т | Potamothrix cf. bedoti (Piguet)               |        | 1       |          | /          |
|   | T | Potamothrix hammoniensis (Michaelsen)         | 74.0   |         | 307      | 309        |
|   |   | Potamothrix heuscheri Bretscher               | 74.8   | 58.4    | 296      | 255        |
|   | Т | Tubifex tubifex (Müller)                      |        |         | 274      | 300        |
|   | Т | Aulodrilus pluriseta Piguet                   | 1      | 1.3     | 1        | 141        |
|   | • | CHIRONOMIDAE                                  | 13.3   | 48.3    | 290      | 275        |
| 0 | i | Macropelopia nebulosa gr.                     | 1      | 4.0     | nd       | 142        |
| 0 | i | Paracladopelma nigritula gr.                  | 1      | 9.4     | nd       | 138        |
| 0 | i | Micropsectra notescens gr.                    | +      | 33.6    | nd       | 275        |
|   |   | Procladius (H.) spp.                          | +      | 8.7     | nd       | 105        |
|   | i | Chironomus anthracinus Zetterstedt            | +      | 7.4     | nd       | 70         |
|   |   | Polypedilum nubeculosum gr.                   | 1      | 1.3     | nd       | 20         |
|   | i | Sergentia coracina (Zettersdedt)              | +      | 5.4     | nd       | 140        |
|   | i | Tanytarsus spp.                               | +      | 2.7     | nd       | 225        |
|   | - | MOLLUSCA                                      |        |         |          |            |
|   |   | Radix peregra (Müller)                        | nd     | 1.3     | nd       | 105        |
|   |   | Pisidium conventus Clessin                    | nd     | < 1     | nd       | 179        |
|   |   | Pisidum personatum Malm                       | nd     | < 1     | nd       | 230        |
|   |   | Nb échantillons                               | 135    | 149     |          |            |

#### BILAN DES APPORTS PAR LES AFFLUENTS AU LÉMAN ET AU RHÔNE À L'AVAL DE GENÈVE

### ASSESSMENT OF THE INPUT FROM THE TRIBUTARIES INTO THE LAKE GENEVA AND INTO THE RHÔNE DOWNSTREAM OF GENEVA

#### Campagne 2003

PAR

#### Philippe QUETIN et Jean-Marcel DORIOZ

STATION D'HYDROBIOLOGIE LACUSTRE (INRA-UMR/CARRTEL), BP 511, FR - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex

#### RÉSUMÉ

Les apports au Léman par les rivières sont calculés à partir des analyses sur des prélèvements d'eau en continu (proportionnels aux débits) pour les quatre affluents principaux (Rhône amont, Dranse, Aubonne et Venoge) et de prélèvements sur onze affluents complémentaires. Le point de mesure du débit pour la Dranse a été déplacé à Seytroux. Les exportations du lac sont contrôlées sur le Rhône émissaire à Genève.

L'année 2003 est une année de faible pluviométrie au voisinage du Léman. A part le Rhône amont, les débits moyens annuels sont légèrement inférieurs à la moyenne de la période 1981-2000.

En 2003, les apports en phosphore total au lac par les quatre rivières principales ont été de 1'464 tonnes. Le Rhône amont représente 97.5 % de ces apports. Les onze rivières complémentaires apportent 23 tonnes de phosphore total au Léman.

Les apports en phosphore dissous des quatre rivières principales (46.7 tonnes) sont du même niveau que ceux de 1997-1998 (années où l'on a les plus faibles valeurs depuis le début des observations). Les concentrations moyennes annuelles dans les rivières complémentaires telles que la Chamberonne (57.2 µgP/L), le Nant de Braille (46.6 µgP/L) et la Morges (39 µgP/L) restent relativement élevées.

Les concentrations en azote minéral total varient de 0.71 mgN/L dans la Dranse à 6.7 mgN/L dans l'Eau Froide. La Venoge, ainsi qu'une rivière complémentaire, la Morges dépassent la concentration moyenne annuelle de 3 mgN/L.

Les apports en chlorure sont de 54'240 tonnes pour les quatre rivières principales et dix affluents complémentaires apportent 2'670 tonnes. Globalement il y a une augmentation de 845 tonnes (+ 1.5 %).

Les analyses effectuées sur les différentes rivières en aval du lac permettent de faire la part apportée par le bassin versant du Rhône entre sa sortie du Léman et Chancy pour les éléments chimiques tels que les nitrates, le phosphore total et le phosphore dissous. Entre le Rhône émissaire et Chancy, pour des débits multipliés par 1.4, on constate que les nitrates sont multipliés par un facteur de 3.5, le phosphore total augmente d'un facteur 5.3 et le phosphore dissous d'un facteur 5.

#### **ABSTRACT**

The inputs into Lake Geneva from rivers are calculated from the results of analyses of continuous water sampling (proportional to the rate of flow) of the four main tributaries (the Rhône further upstream, the Dranse, the Aubonne and the Venoge) and samples from eleven other secondary tributaries. The measurement point for the Dranse was moved to Seytroux. The outputs from the lake were checked in the Rhone where it emerges in Geneva.

The year 2003 was a year with low rainfall in the area of Lake Geneva. Apart from the upstream section of the Rhône, the mean annual flow rates were slightly lower than the mean values for 1981-2000.

In 2003, the input of total phosphorus into the lake from the four main tributaries was 1,464 metric tonnes. The Rhône further upstream accounted for 91.5 % of this inflow. The eleven other tributaries brought 23 tons of total phosphorus into Lake Geneva.

The dissolved phosphorus inflow from the four main tributaries (46.5 tonnes) was the same as in 1997-1998 (the years with the lowest values recorded since observations began). The mean annual concentrations in some of the tributaries, such as the Chamberonne (57.2  $\mu$ gP/L), the Nant de Braille (46.6  $\mu$ gP/L) and the Morges (39  $\mu$ gP/L), were still relatively high.

The concentrations of total inorganic nitrogen ranged from 0.71 mgN/L in the Dranse to 6.7 mgN/L in the Eau Froide. The Venoge, and a minor river, the Morges, were above the mean annual concentration of 3 mgN/L.

The chloride inflow was 54,240 tonnes from the four main tributaries, and ten secondary tributaries contributed 2'670 tonnes. There was an overall increase of 845 tonnes (+ 1.5%).

The determinations carried out in the various rivers downstream from the lake were used to assess the contribution of the catchment basin of the Rhône between its emergence from Lake Geneva and Chancy in terms of chemicals such as nitrates, total phosphorus and dissolved phosphorus. Between the emergence of the Rhône and Chancy, it was found that the flow rates had increased by a factor of 1.4, the nitrates had increased by a factor of 3.5, the total phosphorus had increased by a factor of 5.3 and the dissolved phosphorus by a factor of 5.

#### 1. GÉNÉRALITÉS

En 2003, les apports au Léman ont été mesurés sur les quatre affluents principaux, le Rhône amont à la Porte du Scex, la Dranse au pont de Vongy pour les prélèvements d'eau, l'Aubonne et la Venoge. Les prélèvements de la Dranse sont effectués en amont du rejet de la STEP de Thonon et de la zone industrielle de Vongy. Les exportations sont déterminées sur le Rhône à Genève. Pour ces rivières, les prélèvements sont effectués en continu et les analyses réalisées sur des échantillons proportionnels au débit.

Suite à l'arrêt des mesures au pont de Bioge (raison de sécurité émise par la DDAF de Haute-Savoie) les débits de la Dranse sont effectués au pont de Couvaloup à Seytroux. La corrélation établie entre les 2 points de mesure est de 0.94 sur 10'454 données journalières entre 1979 et 2002.

Plusieurs affluents complémentaires, tous situés sur la côte suisse, ont été suivis : la Versoix, le Stockalper, la Veveyse, la Promenthouse, la Chamberonne, la Morges, le Nant de Pry, le Brassu, la Dullive, le Nant de Braille et l'Eau Froide. Les résultats des suivis de ces affluents complémentaires font l'objet d'un chapitre particulier (chap. 4). Compte tenu de l'importance relative des rivières complémentaires par rapport aux rivières principales (le Rhône amont mis à part), nous avons inclus les apports des rivières complémentaires dans les graphiques.

Les analyses sur le Rhône émissaire, le Rhône à Chancy (programme NADUF), l'Arve, le Nant d'Avril ainsi que l'Allondon permettent de déterminer les bilans des apports de l'agglomération genevoise.

Les prélèvements et les analyses chimiques sont effectués par les laboratoires suivants :

- Service cantonal de l'écologie de l'eau, Genève
- Laboratoire du Service des eaux, sols et assainissement du canton de Vaud, Epalinges
- Laboratoire du Service de la protection de l'environnement du canton du Valais, Sion
- Station d'Hydrobiologie Lacustre (INRA), Thonon-les-Bains
- Institut fédéral pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux (EAWAG), Dübendorf, programme NADUF.

La validité des résultats est périodiquement testée par des analyses interlaboratoires organisées dans le cadre de la CIPEL auxquelles participent environ 20 laboratoires (STRAWCZYNSKY, 2004).

La plupart des analyses sont effectuées sur des échantillons d'eau filtrée (maille de 0.45 µm). Par contre, les concentrations de phosphore total, d'azote total et de carbone organique total sont déterminées sur les échantillons d'eau brute.

Le programme de surveillance de la Commission internationale comprend le suivi du Rhône amont, de la Dranse, de la Venoge, de l'Aubonne, du Rhône émissaire et de trois affluents complémentaires. Toutes les autres rivières sont suivies dans le cadre de programmes cantonaux ou propres aux laboratoires.

Tableau 1: Type de prélèvement

Table 1: Type of sample

|                       | Proportionnel au<br>débit, intégré sur<br>1 ou 2 semaines | Proportionnel au temps, intégré sur 1 semaine | Proportionnel au<br>temps, intégré sur<br>24 heures (1 x mois) | Instantané<br>(1 x mois) |
|-----------------------|---|---|--|--------------------------|
|                       |   | Bassin du Léman                               |  |                          |
| Rhône - Porte du Scex | X 1   |   |  |                          |
| Dranse                | X 1   |   |  |                          |
| Aubonne               | X 1   |   |  |                          |
| Venoge                | X 1   |   |  |                          |
| Versoix               |   |   |  | х                        |
| Stockalper            |   |   | х  |                          |
| Veveyse               |   | Х   |  |                          |
| Promenthouse          |   | x   |  |                          |
| Chamberonne           |   | Х   |  |                          |
| Morges                |   | х   |  |                          |
| Nant de Pry           |   |   |  | x                        |
| Le Brassu             |   |   |  | х                        |
| Dullive               |   | х   |  |                          |
| Nant de Braille       |   |   |  | х                        |
| Eau Froide            |   |   | х  |                          |
| Rhône émissaire       | x <sup>2</sup>  |   |  |                          |
|                       |   | Bassin du Rhône a                             | val  |                          |
| Arve                  |   |   |  | х                        |
| Nant d'Avril          |   |   |  | х                        |
| Allondon              |   |   |  | х                        |
| Rhône à Chancy        | x <sup>2</sup>  |   |  |                          |

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> = intégré sur une semaine <sup>2</sup> = intégré sur deux semaines

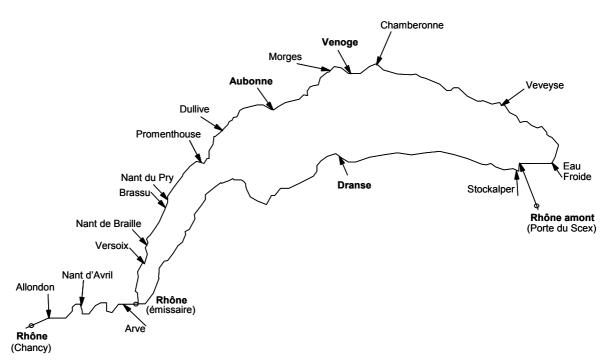


Figure 1 : Situation des diverses rivières étudiées

Figure 1: Location of the various rivers investigated

#### 2. DÉBITS DES AFFLUENTS PRINCIPAUX ET DE L'ÉMISSAIRE (figure 2)

Sur le pourtour du Léman, l'année 2003 est une année à faible pluviométrie avec une lame d'eau précipitée au niveau des inter-stations du Léman de l'ordre de 790 mm (QUETIN, 2004). A part le Rhône amont, les débits moyens des rivières sont en baisse par rapport à 2002.

Tableau 2 : Débits des affluents principaux et de l'émissaire (m³/s)

Table 2: Flow rates of the main tributaries and of the effluent river (in Geneva) (m<sup>3</sup>/s)

| Année   | Rhône amont | Dranse | Aubonne | Venoge | Rivières complémentaires | Rhône<br>émissaire |
|---------|-------------|--------|---------|--------|--------------------------|--------------------|
| 1984    | 160.2       | 19.6   | 5.9     | 5.3    |                          | 221.0              |
| 1985    | 182.7       | 19.7   | 4.6     | 3.4    |                          | 258.0              |
| 1986    | 199.1       | 21.4   | 5.3     | 3.9    |                          | 259.1              |
| 1987    | 198.2       | 23.3   | 6.9     | 4.7    |                          | 276.6              |
| 1988    | 206.7       | 22.2   | 6.7     | 5.5    |                          | 278.9              |
| 1989    | 169.6       | 12.1   | 2.9     | 2.3    |                          | 207.2              |
| 1990    | 172.2       | 18.3   | 3.7     | 3.0    |                          | 238.6              |
| 1991    | 173.7       | 14.9   | 5.9     | 3.2    | 12.3                     | 201.5              |
| 1992    | 178.5       | 21.3   | 7.2     | 4.1    | 16.8                     | 224.7              |
| 1993    | 191.2       | 17.3   | 5.6     | 6.6    | 16.5                     | 243.2              |
| 1994    | 216.4       | 20.5   | 6.1     | 4.5    | 11.7                     | 297.4              |
| 1995    | 210.5       | 27.2   | 6.6     | 5.3    | 13.6                     | 303.4              |
| 1996    | 147.2       | 15.2   | 4.5     | 3.5    | 9.7                      | 192.5              |
| 1997    | 184.9       | 18.7   | 5.8     | 3.9    | 8.0                      | 234.0              |
| 1998    | 170.5       | 17.2   | 4.9     | 3.3    | 8.0                      | 216.3              |
| 1999    | 218.0       | 24.9   | 6.0     | 5.1    | 16.9                     | 302.2              |
| 2000    | 189.7       | 19.8   | 6.1     | 4.2    | 10.4                     | 246,6              |
| 2001    | 200.8       | 26.2   | 6.7     | 5.6    | 11.5                     | 308.5              |
| 2002    | 178.3       | 20.8   | 6.0     | 4.8    | 9.8                      | 249.1              |
| 2003    | 196.8       | 14.9   | 3.8     | 2.4    | 9.2                      | 231.4              |
| Moyenne | 191.6       | 20.6   | 5.7     | 4.3    | 10.9                     | 258.2              |

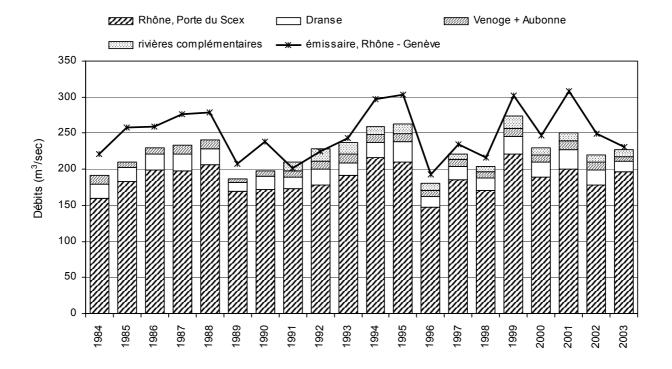


Figure 2 : Débits moyens annuels Figure 2 : Mean annual flow rates

#### 3. APPORTS ANNUELS ET COMPOSITION DE L'EAU DES AFFLUENTS

Les calculs des flux et des concentrations moyennes annuelles pondérées sont effectués de la façon suivante :

Pour les rivières échantillonnées en continu (proportionnel au débit ou au temps)

Fa = 
$$\sum_{1}^{s}$$
 Ch . Qh Cmoy =  $\sum_{1}^{s}$  Qh

avec Fa = flux annuel

Ch = concentration de l'échantillon intégré, hebdomadaire (ou bimensuel)

Qh = volume d'eau de la période correspondante

= 52 (échantillonnage hebdomadaire) 26 (échantillon bimensuel)

Cmoy = concentration moyenne annuelle pondérée

• Pour les rivières à échantillonnage mensuel

avec Fmoy = flux moyen (g/s)

Ci = concentration dans l'échantillon prélevé (g/L) Qi = débit moyen de la période correspondante (m³/s)

n = nombre d'échantillons Qmoy = débit moyen annuel

#### **3.1 Phosphore** (tableau 3 et figures 3 et 4)

Le phosphore apporté par les affluents peut être subdivisé en :

- fraction dissoute : orthophosphate (forme prépondérante dans la fraction dissoute) et phosphore organique dissous.
- fraction particulaire : phosphore organique particulaire et phosphore inorganique particulaire (apatitique ou non apatitique).

Rappelons que seul le phosphore directement ou indirectement assimilable par les algues joue un rôle dans le phénomène d'eutrophisation. Les algues ne peuvent assimiler que des formes dissoutes de phosphore ou se transformant en formes dissoutes.

La fraction dissoute est donc la plus importante au plan biologique : l'orthophosphate (PO<sub>4</sub>) est directement biodisponible, de même que certains composés phosphorés provenant d'eaux usées; sous certaines conditions (faible teneur en orthophosphate), les algues peuvent métaboliser la forme organique dissoute du phosphore. En faisant abstraction du phénomène secondaire de fixation sur les particules qui sédimentent à travers l'hypolimnion, la majeure partie du phosphore dissous apporté par les affluents est à disposition des algues.

#### 3.1.1 Phosphore total et particulaire

Les apports en phosphore total au lac par les rivières sont constitués par environ 95 % de phosphore particulaire et 5 % de phosphore dissous. Dans le lac se produit la sédimentation du phosphore particulaire ce qui explique que dans l'émissaire c'est le phosphore dissous qui domine.

Les apports en phosphore total par les quatre rivières principales sont de 1'464 tonnes pour l'année 2003, soit 450 tonnes de plus par rapport à 2002, dont 1'427 tonnes pour le Rhône amont, proche du maximum (1'436 tonnes) relevé en 1994. La valeur du phosphore total dans le Rhône émissaire suit la même évolution depuis 1980 (loi logarithmique).

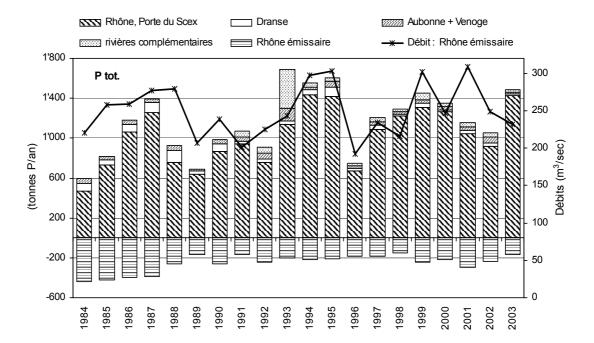


Figure 3 : Phosphore total - Apports annuels par les affluents principaux et complémentaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac)

Figure 3: Total phosphorus - Annual inflow from the main and secondary tributaries, and annual loss via the effluent river. (Do not attempt a complete assessment, because no allowance is made for the direct WWTP input into the lake)

#### 3.1.2 Phosphore dissous (orthophosphate)

Le total des apports en orthophosphate par les affluents principaux (46.7 tonnes) est en baisse (- 6 tonnes) par rapport à 2002, il est de même niveau qu'en 1997 (47.1 tonnes). L'émissaire est lui aussi en baisse (- 19.2 tonnes). Les concentrations moyennes annuelles pondérées par les débits se répartissent comme suit : 6.4  $\mu$ gP/L pour le Rhône amont, 6.5  $\mu$ gP/L pour la Dranse, 14.1  $\mu$ gP/L pour l'Aubonne et 26.3  $\mu$ gP/L pour la Venoge. Elles sont toutes en baisse par rapport à 2002.

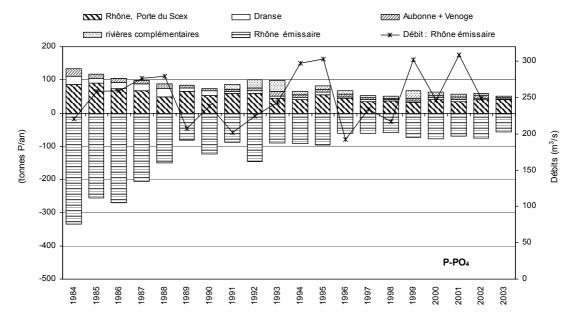


Figure 4 : Phosphore dissous (orthophosphate) - Apports annuels par les affluents principaux et complémentaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac)

Figure 4: Dissolved phosphorus (orthophosphate) - Annual inflow from the main and secondary tributaries, and annual loss via the effluent river. (Do not attempt a complete assessment, because no allowance is made for the direct WWTP input into the lake)

Tableau 3: Phosphore dissous - Flux moyens annuels

Table 3: Dissolved phosphorus (orthophosphate) - Annual inflow

|         | Rhône | Dranse | Venoge + Aubonne | Rhône émissaire |
|---------|-------|--------|------------------|-----------------|
| 1984    | 86.9  | 23.9   | 22.4             | -333.6          |
| 1985    | 89.3  | 15.1   | 12.0             | -255.3          |
| 1986    | 73.3  | 18.8   | 11.9             | -269.9          |
| 1987    | 67.0  | 20.8   | 10.4             | -205.5          |
| 1988    | 48.7  | 25.6   | 13.3             | -150.2          |
| 1989    | 66.2  | 10.4   | 7.2              | -81.5           |
| 1990    | 53.0  | 13.8   | 7.0              | -123.8          |
| 1991    | 59.4  | 6.5    | 5.0              | -88.1           |
| 1992    | 58.3  | 9.4    | 8.4              | -146.9          |
| 1993    | 43.9  | 6.9    | 14.8             | -90.8           |
| 1994    | 40.4  | 6.9    | 7.5              | -91.8           |
| 1995    | 54.2  | 8.1    | 10.3             | -96.9           |
| 1996    | 44.2  | 5.4    | 6.5              | -61.0           |
| 1997    | 34.3  | 5.8    | 6.9              | -61.3           |
| 1998    | 35.8  | 4.0    | 5.8              | -58.7           |
| 1999    | 31.7  | 5.3    | 7.8              | -72.8           |
| 2000    | 40.5  | 5.4    | 6.8              | -77.2           |
| 2001    | 34.0  | 6.9    | 8.3              | -69.5           |
| 2002    | 40.1  | 5.3    | 7.7              | -76.0           |
| 2003    | 39.9  | 3.1    | 3.6              | -56.2           |
| Moyenne | 52.1  | 10.4   | 9.2              | 123.3           |

#### **3.2** Azote minéral et organique (tableau 4 et figures 5 et 6)

Pour l'azote total (azote minéral et organique) dans le Rhône amont, les apports en 2003 (3'140 tonnes) sont plus faibles qu'en 2002. L'évolution de l'azote total sur la Dranse est stable au niveau de sa concentration par rapport à 2002.

Représentés à plus de 90 % par l'azote nitrique, les apports en azote minéral total par les rivières principales s'élèvent à 3'582 tonnes. Le Rhône amont représente 70 % du total des apports des rivières principales. Leurs évolutions sont en relative stabilité.

Les exportations d'azote nitrique par l'émissaire sont en 2003 de 1'775 tonnes. C'est la première fois, depuis 1976, que les exportations sont inférieures à 2'000 tonnes.

Tableau 4 : Apports annuels en azote total (t N/an) et concentrations moyennes annuelles pondérées - Rhône Porte du Scex et Dranse.

Table 4: Annual inflow of total nitrogen (tons N/year) and weighted mean annual concentrations - the Rhône Porte du Scex and the Dranse

| Année   | Rhône  | amont  | Dra    | nse    |
|---------|--------|--------|--------|--------|
| Annee   | tonnes | mg N/L | tonnes | mg N/L |
| 1984    | 6'181  | 1.220  | 450    | 0.730  |
| 1985    | 5'592  | 0.970  | 525    | 0.850  |
| 1986    | 5'869  | 0.940  | 549    | 0.820  |
| 1987    | 7'362  | 1.160  | 567    | 0.770  |
| 1988    | 6'649  | 1.020  | 598    | 0.850  |
| 1989    | 4'929  | 0.920  | 322    | 0.850  |
| 1990    | 6'136  | 1.130  | 493    | 0.860  |
| 1991    | 5'790  | 1.060  | 412    | 0.880  |
| 1992    | 6'520  | 1.160  | 606    | 0.900  |
| 1993    | 5'672  | 0.940  | 438    | 0.800  |
| 1994    | 5'647  | 0.827  | 472    | 0.729  |
| 1995    | 5'949  | 0.896  | 627    | 0.730  |
| 1996    | 4'132  | 0.890  | 396    | 0.827  |
| 1997    | 4'871  | 0.835  | 493    | 0.833  |
| 1998    | 4'593  | 0.854  | 459    | 0.846  |
| 1999    | 5'705  | 0.830  | 599    | 0.763  |
| 2000    | 4'654  | 0.791  | 549    | 0.877  |
| 2001    | 4'561  | 0.720  | 613    | 0.742  |
| 2002    | 3'869  | 0.688  | 539    | 0.822  |
| 2003    | 3'140  | 0.506  | 389    | 0.827  |
| Moyenne | 5'391  | 0.916  | 505    | 0.812  |

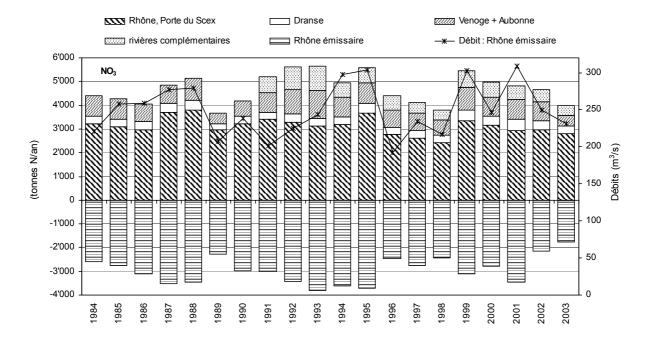


Figure 5 : Azote nitrique - Apports annuels par les affluents principaux et complémentaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac)

Figure 5: Nitric nitrogen - Annual inflow from the main and secondary tributaries, and annual loss via the effluent river. (Do not attempt a complete assessment, because no allowance is made for the direct WWTP input into the lake)

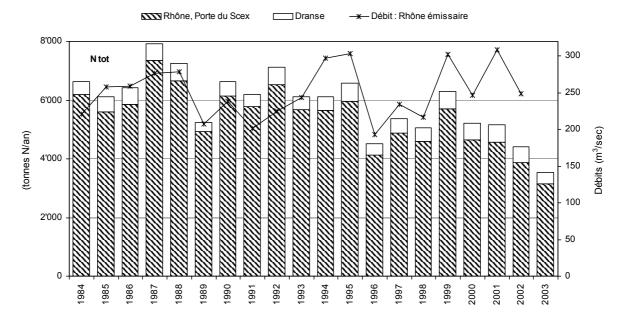


Figure 6: Azote total - Apports annuels par les affluents principaux et complémentaires. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac)

Figure 6: Total nitrogen - Annual inflow from the main and secondary tributaries. (Do not attempt a complete assessment, because no allowance is made for the direct WWTP input into the lake)

#### 3.3 Chlorure (figure 7)

Pour 2003, les apports totaux par les rivières principales atteignent 54'241 tonnes. L'ensemble des rivières contrôlées apportent 56'913 tonnes. La concentration moyenne en chlorure, pondérée par le débit, est de 7.95 mgCl/L (8.09 mgCl/L en 2002).

La teneur moyenne dans les eaux du Rhône à l'émissaire atteint 7.4 mgCl/L (relativement stable depuis 2001), ce qui correspond en terme de bilan à une perte annuelle de 54'021 tonnes.

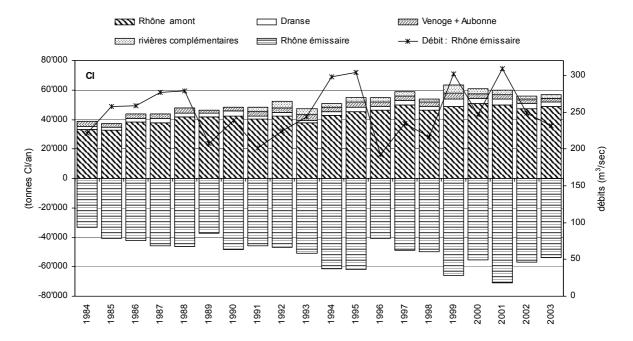


Figure 7 : Chlorure - Apports annuels par les affluents principaux et complémentaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac)

Figure 7: Chloride - Annual inflow from the main and secondary tributaries, and annual loss via the effluent river. (Do not attempt a complete assessment, because no allowance is made for the direct WWTP input into the lake)

#### 3.4 Carbone organique

Le carbone organique dissous (COD) est analysé dans les eaux de l'ensemble des rivières principales et complémentaires sauf dans la Dranse. Le carbone organique total (COT) est mesuré dans les eaux du Rhône amont et du Rhône à Chancy.

Les concentrations moyennes pondérées par les débits évoluent entre 0.91 mgC/L pour le Rhône amont et 3.34 mgC/L pour la Morges.

La concentration de COD dans les eaux du Rhône émissaire est de 1.25 mgC/L pour l'année 2003, alors que la concentration moyenne annuelle pondérée par les débits de l'ensemble des rivières principales et complémentaires considérées est de 1.36 mgC/L (en très légère hausse par rapport à 2002).

Les concentrations moyennes annuelles en carbone organique total dans les eaux sont de 2.56 mgC/L pour le Rhône amont et 2.51 mgC/L pour le Rhône à Chancy. Elles sont en baisse pour le Rhône amont, tandis que pour le Rhône à Chancy elles sont en légère hausse.

#### 4. ÉTUDE DES AFFLUENTS COMPLÉMENTAIRES

Les affluents complémentaires étudiés fournissent un débit total de 9.2 m³/s, dont 2.41 m³/s apportés par le Stockalper. Ces affluents représentent 4.1 % des apports mesurés au lac (même pourcentage depuis 2000). Comme pour les affluents principaux, l'ensemble des résultats de la campagne 2003 sur les onze affluents complémentaires du Léman est consigné dans les tableaux 7 et 8.

Les apports de l'Allondon, du Nant d'Avril et de l'Arve qui se jettent dans le Rhône aval ne sont pas pris en compte dans cette analyse, mais figurent avec ceux du Rhône à Chancy. Ils permettront de préciser les apports du bassin versant du Rhône entre la sortie du lac et la frontière franco-suisse que nous aborderons au chapitre 5.

Tableau 5 : Affluents complémentaires ( + Rhône à Chancy) : débits moyens annuels en m³/s

Table 5: Secondary tributaries ( + Rhône at Chancy): mean annual flow in m³/s

|                 | 1993  | 1994   | 1995   | 1996      | 1997      | 1998     | 1999   | 2000   | 2001  | 2002  | 2003  |
|-----------------|-------|--------|--------|-----------|-----------|----------|--------|--------|-------|-------|-------|
|                 |       |        | Bas    | sin versa | ant du Lé | man      |        |        |       |       |       |
| Versoix         | 2.87  | 3.17   | 3.65   | 3.35      | 2.74      | 3.07     | 4.63   | 3.30   | 3.88  | 3.49  | 2.62  |
| Stockalper      | 2.79  | 2.41   | 3.32   | 2.20      |           |          | 3.17   |        | 3.21  |       | 2.41  |
| Veveyse         | 1.87  | 2.40   | 1.88   | 1.16      | 1.63      | 1.84     | 3.10   | 3.17   | 2.89  | 2.57  | 1.33  |
| Promenthouse    | 1.72  | 1.30   | 1.97   | 1.23      | 1.79      | 1.43     | 2.64   | 1.90   | 2.25  | 1.78  | 1.22  |
| Chamberonne     | 0.68  | 1.07   | 1.06   | 0.77      | 0.75      | 0.68     | 1.05   | 0.88   | 1.08  | 0.86  | 0.89  |
| Eau Froide      | 0.78  | 0.53   | 0.55   | 0.33      |           | 0.38     | 0.46   | 0.47   | 0.44  | 0.43  | 0.02  |
| Morges          | 1.69  | 0.48   | 0.97   | 0.47      | 0.43      | 0.33     | 0.57   | 0.45   | 0.67  | 0.50  | 0.31  |
| Dullive         | 0.98  | 0.28   | 0.19   | 0.21      | 0.21      | 0.26     | 0.34   | 0.24   | 0.24  | 0.18  | 0.12  |
| Nant de Pry     |       |        |        |           | 0.17      |          |        |        |       |       | 0.15  |
| Le Brassu       |       |        |        |           | 0.17      |          |        |        |       |       | 0.13  |
| Nant de Braille |       |        |        |           | 0.08      |          |        |        |       |       | 0.05  |
|                 |       |        | Bas    | sin versa | ant du Ri | nône ava | ıl     |        |       |       |       |
| Arve            | 62.50 | 84.28  | 90.55  | 71.36     | 63.03     | 65.63    | 103.5  | 72.59  | 92.1  | 61.0  | 60.6  |
| Nant d'Avril    |       |        |        |           |           |          |        |        |       |       | 0.53  |
| Allondon        | 3.78  | 3.96   | 3.80   | 4.45      | 3.01      | 3.00     | 0.48   | 3.73   | 5.12  | 3.43  | 2.57  |
| Rhône Chancy    | 356.5 | 403.57 | 415.67 | 285.37    | 333.09    | 307.30   | 416.00 | 330.01 | 439.1 | 334.6 | 322.9 |

#### 4.1 Phosphore dissous (orthophosphate) et phosphore total

La charge annuelle en phosphore dissous qui transite par les onze affluents est de 4.8 tonnes. Ce tonnage est du même ordre de grandeur que celui apporté par l'Aubonne et la Venoge réunies (3.65 tonnes).

En terme de concentration en orthophosphate, la Chamberonne (57.2  $\mu$ gP/L), le Nant de Braille (46.6  $\mu$ gP/L) et la Morges (39  $\mu$ gP/L) sont les rivières présentant les concentrations les plus élevées, elles sont en légère hausse par rapport à 2002. Pour les flux ce sont la Versoix (débit élevé) et la Chamberonne (forte concentration) qui ont les valeurs les plus fortes.

En phosphore total, 22.5 tonnes sont amenées par les rivières complémentaires contrôlées.

#### 4.2 Azote minéral total

Les concentrations moyennes annuelles en azote minéral total varient de 0.74 mgN/L pour la Veveyse à 6.7 mgN/L pour l'Eau Froide. Les concentrations sont du même ordre de grandeur que les concentrations moyennes annuelles atteintes dans les eaux des rivières principales, notamment la Venoge (4.1 mgN/L) et la Dranse (0.71 mgN/L).

Les apports cumulés de l'ensemble des rivières complémentaires représentent 56 % des apports cumulés de la Venoge, de l'Aubonne et de la Dranse. Globalement, les rivières complémentaires examinées transfèrent 464 tonnes d'azote minéral total au Léman, en baisse par rapport à 2002 (514 tonnes).

#### 4.3 Chlorure

Les apports en chlorure des rivières complémentaires atteignent 2'673 tonnes, en légère hausse par rapport à 2002. Par rapport aux quatre rivières principales, les apports des rivières secondaires représentent 5 %. Les concentrations en chlorure, qui varient entre 8.3 mgCl/L (la Veveyse) et 19.2 mgCl/L (la Morges), sont en augmentation par rapport à 2002.

#### 5. BASSIN VERSANT DU RHÔNE DE GENÈVE À CHANCY (tableau 6 et figure 8)

Nous rappelons qu'en aval du lac, le Rhône traverse le territoire du canton de Genève et quitte la Suisse à Chancy-Pougny. Le long de son parcours, il reçoit les eaux de plus de quarante affluents, les deux principaux étant l'Arve (débit moyen 60.6 m³/s) et l'Allondon (débit moyen 2.57 m³/s). Les débits du Rhône émissaire et de l'Arve constituent 90.4 % du débit mesuré à Chancy.

Nous disposons, pour effectuer un bilan des apports au Rhône entre le lac et Chancy, des analyses d'eau du Rhône émissaire, de l'Arve à Genève (la Jonction), de l'Allondon à son embouchure et du Rhône en aval de Chancy. Les prélèvements du Rhône émissaire et de Chancy sont effectués en continu proportionnellement au débit, ceux de l'Arve et de l'Allondon sont mensuels et instantanés. Les apports calculés pour ces deux rivières doivent donc être considérés avec prudence.

Une partie importante des apports en nutriments provient de dix stations d'épuration (STEP) françaises et de douze STEP suisses dont celle de Genève-Aïre (786'670 EH), totalisant 1'094'966 EH <sup>1</sup>. Onze de ces installations déversent directement dans le fleuve (1'041'883 EH), le reste dans les divers affluents. La STEP de Genève-Aïre pratique maintenant une déphosphatation partielle et au moins quatre d'entre elles traitent des eaux d'origine industrielle. Le bassin de l'Arve, en amont du Rhône, compte trente-trois STEP qui totalisent 465'400 EH.

Une estimation des apports ponctuels et diffus du bassin dit "genevois" est obtenue en soustrayant au flux du Rhône à Chancy ceux mesurés de l'émissaire (sortie du Léman), de l'Arve et de l'Allondon et du Nant d'Avril.

La figure 8 montre le détail des charges qui transitent par Chancy.

-

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> EH = équivalent habitant à 60 g de DBO₅ par jour

Tableau 6: Débits en m³/s et flux en tonnes/an

Table 6: Flow in m<sup>3</sup>/s and in tons/year

|                             | Débits<br>m³/s | Nitrate<br>(NO <sub>3</sub> )<br>t N/an | Ammonium<br>(NH₄)<br>t N/an | Ortho-<br>phosphate<br>(PO <sub>4</sub> )<br>t P/an | Phosphore<br>total<br>t P/an | Carb. org.<br>dissous<br>(DOC)<br>t C/an | Chlorure<br>t Cl/an | Sulfates |
|-----------------------------|----------------|---|-----------------------------|---|------------------------------|--|---------------------|----------|
| Rhône émissaire             | 231.4          | 1'775                                   | 253                         | 56.8  | 164.8                        | 9'136                                    | 54'021              | 329'866  |
| Arve                        | 60.6           | 1'033                                   | 417                         | 141.9   | 249.5                        | 1'632                                    | 13'295              | 88'476   |
| Nant d'Avril                | 0.53           | 61                                      | 0.1                         | 0.4   | 0.9                          | 21                                       | 254                 | 782      |
| Allondon                    | 2.6            | 190                                     | 16.8                        | 7.6   | 9.6                          | 126                                      | 676                 | 715      |
| Bassin versant "genevois" * | 27.8           | 3'229                                   | 122                         | - 3.5 *   | 443.6                        | 5'997                                    | 21'588              | 49'247   |
| Rhône Chancy                | 322.9          | 6'288                                   | 809                         | 203.2   | 868.4                        | 16'912                                   | 89'834              | 469'086  |

<sup>\*</sup> Cette valeur négative est due à la précision des différentes mesures (intégration de valeurs instantanées de l'Arve de la Nant d'Avril et l'Allondon).

Entre Chancy et le Rhône à l'émissaire, le flux de nitrates est augmenté d'un rapport de 3.5. Le flux de phosphore dissous à Chancy provient à 27.5 % du bassin dit "genevois" (obtenu par soustraction) (en baisse notable par rapport à 2002, même part que le Rhône émissaire) et à 70 % de l'Arve. Pour le phosphore total, 51.2 % proviennent du bassin dit "genevois" (même rapport qu'en 2002) et pour le carbone organique dissous 35.6 %.

Alors que les débits du Rhône émissaire représentent 71.7 % du débit du Rhône à Chancy, la participation du Rhône émissaire dans la charge totale du Rhône à Chancy représente :

- 28.0 % de la charge en phosphore dissous (stabilité par rapport à 2002)
- 19.0 % de la charge en phosphore total (en baisse sensible par rapport à 2002)
- 28.2 % de la charge en nitrates (en baisse par rapport à 2002)
- 31.3 % de la charge d'ammonium (en baisse sensible par rapport à 2002)
- 54.0 % de la charge en carbone organique dissous (en baisse par rapport à 2002)
- 60.1 % de la charge en chlorure (en baisse par rapport à 2002)
- 70.3 % de la charge en sulfates. (en baisse par rapport à 2002).

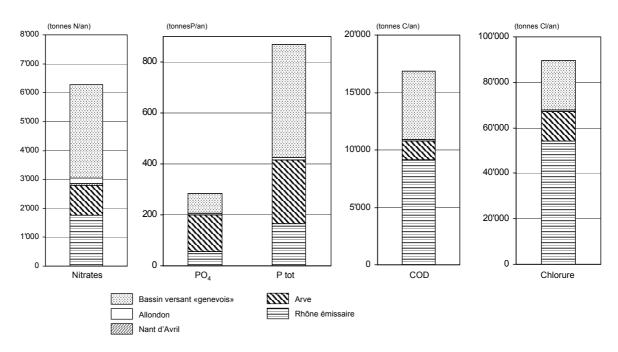


Figure 8 : Charges du Rhône à Chancy en 2003 Figure 8 : Levels in the Rhône at Chancy in 2003

#### 6. CONCLUSIONS

#### 6.1 Bassin versant du Léman

Avec une lame d'eau précipitée de l'ordre de 790 mm sur le bassin versant proche du Léman, 2003 est une année à faible pluviométrie. A part le Rhône amont, les débits des différentes rivières sont légèrement inférieurs à leur moyenne sur 10 ans. La somme des débits moyens de l'ensemble des quatre affluents principaux (Rhône, Dranse, Aubonne et Venoge) est de 218 m³/s.

Les apports en phosphore total sont de 1'464 tonnes pour les quatre rivières principales. Les apports par le Rhône amont représentent 97.5 % de ce total. Pour le phosphore dissous, élément directement assimilable par les algues, les apports par les rivières principales (46.7 tonnes) repassent en dessous de 50 tonnes. En terme de concentration moyenne annuelle en phosphore dissous, la Chamberonne atteint le niveau de 57.2 µgP/L et le Nant de Braille 46.6 µgP/L. Depuis 1998 les flux sur le Rhône émissaire sont relativement stables (environ 74 t/an).

Représentés à plus de 90 % par l'azote nitrique, les apports en azote minéral total par l'ensemble des rivières principales et secondaires contrôlées, s'élèvent à 3'996 tonnes. Les apports en azote minéral total par le Rhône amont représentent 70 % de l'ensemble des apports (des quatre rivières principales et des onze rivières secondaires). On constate que les trois mêmes rivières qu'en 2001 et 2002 ont des concentrations en azote minéral total supérieures à 3 mgN/L. Ce sont la Morges (5.2 mgN/L), la Venoge (4.2 mgN/L), et l'Eau Froide (6.7 mgN/L).

Les apports en chlorure par l'ensemble des rivières contrôlées sont de 56'913 tonnes, soit 845 tonnes de plus qu'en 2002 (+ 1.5 %), la hausse mesurée est régulière depuis 1980 (r²= 0.88).

#### 6.2 Bassin versant du Rhône aval jusqu'à Chancy

Les analyses effectuées sur le Rhône émissaire, le Rhône à la sortie du territoire suisse à Chancy, l'Arve, le Nant d'Aisy et l'Allondon ont permis de préciser la participation des divers bassins versants dans l'enrichissement en éléments fertilisants des eaux du Rhône aval.

L'Arve apporte au Rhône 1'033 tonnes de nitrates et 142 tonnes de phosphore dissous (orthophosphate). Le bassin dit "genevois" apporte, quant à lui, 3'230 tonnes de nitrates et 78 tonnes de phosphore dissous.

La charge du Rhône en éléments fertilisants à la frontière franco-suisse (Chancy) est multipliée par 3.5 pour le nitrate, par 5 pour le phosphore dissous et 5.3 pour le phosphore total par rapport à celle mesurée à la sortie du lac (Rhône émissaire).

Par rapport aux charges à Chancy, celles dues à l'Arve représentent 16.4 % pour le nitrate et 49.8 % pour le phosphore dissous. Pour le bassin dit "genevois", les charges (obtenues par soustraction) représentent 51.3 % pour le nitrate et 27.4 % pour le phosphore dissous.

#### **BIBLIOGRAPHIE**

QUETIN, P. (2004): Météorologie. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2003, 19-29.

STRAWCZYNSKY, A. (2004): Analyses comparatives interlaboratoires. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2003, 161-172.

Tableau 7: Concentrations moyennes en 2003

Table 7: Mean concentrations in 2003

| 2003             | Débit   | N-NH <sub>4</sub> | N-NO <sub>2</sub> | N-NO <sub>3</sub> | Nmintot | Ntot   | P-PO <sub>4</sub> | Ptot     | CI        | SO <sub>4</sub> | Са    | Mg    | Na    | K    | SiO <sub>2</sub> | COD  | СОТ  | MES   |
|------------------|---------|-------------------|-------------------|-------------------|---------|--------|-------------------|----------|-----------|-----------------|-------|-------|-------|------|------------------|------|------|-------|
|                  | m³/s    | μg N/L            | μg N/L            | μg N/L            | μg N/L  | μg N/L | μg P/L            | μgP/L    | mg/L      | mg/L            | méq/L | méq/L | mg/L  | mg/L | mg/L             | mg/L | mg/L | mg/L  |
| Concentrations m | oyennes |                   |                   |                   |         | Bassir | n versan          | t du Lém | nan       |                 |       |       |       |      |                  |      |      |       |
| Rhône amont      | 196.8   | 44.1              |                   | 452               |         | 506    | 6.4               | 229.9    | 7.83      | 44.78           | 1.78  | 0.41  | 5.93  | 1.33 | 2.57             | 0.91 | 2.56 | 183.3 |
| Dranse           | 14.92   | 49.8              | 8.2               | 655               | 713     | 827    | 6.5               | 31.1     | 7.23      | 78.06           | 3.90  | 0.87  | 4.47  | 0.90 | 3.31             |      |      | 17.4  |
| Aubonne          | 3.80    | 23.9              | 10.5              | 1'441             | 1'475   |        | 14.1              | 97.6     | 6.92      | 5.64            | 3.44  | 0.49  | 4.19  | 0.79 | 2.90             | 2.80 |      | 50.1  |
| Versoix          | 2.62    | 36.0              | 13.3              | 939               | 988     | 1'219  | 18.0              | 35.4     | 9.43      | 6.09            | 3.52  | 0.46  | 5.20  | 0.73 |                  | 1.40 |      |       |
| Stockalper       | 2.41    | 487.5             | 28.4              | 1'038             | 1'554   |        |                   | 75.0     |           |                 |       |       |       |      |                  | 2.42 | 3.77 | 24.4  |
| Venoge           | 2.36    | 126.6             | 40.1              | 3'990             | 4'157   |        | 26.3              | 139.9    | 18.93     | 20.94           | 4.33  | 0.71  | 9.97  | 2.47 | 4.77             | 3.03 |      | 52.6  |
| Veveyse          | 1.33    | 24.3              | 5.5               | 706               | 736     |        | 4.8               | 150.7    | 16.59     | 15.56           | 3.09  | 0.51  | 11.20 | 1.42 | 3.87             | 2.57 |      | 162.7 |
| Promenthouse     | 1.22    | 18.7              | 6.5               | 2'307             | 2'332   |        | 7.5               | 34.0     | 8.30      | 7.38            | 3.86  | 0.64  | 4.61  | 1.27 | 3.98             | 2.27 |      | 16.6  |
| Chamberonne      | 0.89    | 77.8              | 33.4              | 2'242             | 2'353   |        | 57.2              | 144.8    | 19.45     | 37.93           | 3.28  | 0.62  | 12.71 | 2.54 | 4.41             | 2.43 |      | 45.7  |
| Morges           | 0.31    | 41.8              | 33.8              | 5'141             | 5'217   |        | 39.0              | 167.9    | 19.24     | 27.92           | 4.69  | 0.89  | 9.60  | 3.18 | 7.36             | 3.34 |      | 99.3  |
| Nant du Pry      | 0.15    | 3.2               | 7.4               | 959               | 970     | 1'222  | 19.1              | 41.0     | 8.76      | 5.43            | 3.50  | 0.49  | 4.59  | 0.73 |                  | 1.36 |      |       |
| Le Brassu        | 0.13    | 93.5              | 33.3              | 1'530             | 1'657   | 1'926  | 25.8              | 40.5     | 11.00     | 6.01            | 3.49  | 0.46  | 5.97  | 0.88 |                  | 1.70 |      |       |
| Dullive          | 0.12    | 11.6              | 8.7               | 2'124             | 2'144   |        | 8.6               | 32.7     | 9.13      | 18.78           | 3.85  | 0.84  | 6.17  | 1.72 | 5.86             | 2.18 |      | 7.5   |
| Nant de Braille  | 0.05    | 25.2              | 16.3              | 1'524             | 1'565   | 1'919  | 46.6              | 63.1     | 11.56     | 9.58            | 3.65  | 0.58  | 6.54  | 1.50 |                  | 1.97 |      |       |
| Eau Froide       | 0.02    | 65.3              | 8.8               | 6'649             | 6'723   |        | 5.4               | 25.1     | 12.39     | 31.11           | 3.16  | 0.50  | 12.85 | 2.10 | 3.63             | 2.58 |      | 6.0   |
|                  |         |                   |                   |                   |         |        | Bassi             | n versar | it du Rhé | ône aval        |       |       |       |      |                  |      |      |       |
| Rhône émissaire  | 231.4   | 34.7              | 9.3               | 243               | 287     | 551    | 7.8               | 22.6     | 7.40      | 45.20           | 2.15  | 0.47  | 5.35  | 1.37 | 0.64             | 1.25 |      |       |
| Arve             | 60.63   | 218.1             | 52.9              | 540               | 811     | 971    | 74.2              | 130.5    | 6.95      | 46.27           | 2.63  | 0.43  | 4.94  | 1.16 |                  | 0.85 |      |       |
| Allondon         | 2.57    | 207.0             | 44.8              | 2'342             | 2'594   | 2'902  | 93.8              | 118.6    | 8.33      | 8.82            | 4.08  | 0.50  | 5.45  | 1.35 |                  | 1.55 |      |       |
| Nant d'Avril     | 0.53    | 8.0               | 9.4               | 3'641             | 3'658   | 3'995  | 24.7              | 56.2     | 15.30     | 47.01           | 4.37  | 0.94  | 10.12 | 2.26 |                  | 1.29 |      |       |
| Rhône Chancy     | 322.9   | 75.4              | 18.6              | 618               | 712     | 760    | 20.0              | 85.3     | 8.82      | 46.07           | 2.21  | 0.54  | 6.65  | 1.60 | 1.37             | 1.66 | 2.51 | 40.0  |

Tableau 8 : Flux en 2003 Table 8 : Flow in 2003

| 2003                  | Débit   | N-NH4  | N-NO2  | N-NO3  | Nmintot | NtotBrut | P-PO4  | PtotBrut | Ppartic | CI      | SO4     | Ca      | Mg     | Na     | K      | SiO2     | DOC    | TOC    | MES       |
|-----------------------|---------|--------|--------|--------|---------|----------|--------|----------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|----------|--------|--------|-----------|
| Flux en t/an          | (m³/s)  | (t/an) | (t/an) | (t/an) | (t/an)  | (t/an)   | (t/an) | (t/an)   | (t/an)  | (t/an)  | (t/an)  | (t/an)  | (t/an) | (t/an) | (t/an) | (t/an)   | (t/an) | (t/an) | (t/an)    |
| Tiux en van           | (11173) | (vaii) | (vaii) | (vaii) | (vaii)  | (vaii)   | ` ,    | , ,      | , ,     |         | , ,     | (vaii)  | (vaii) | (vaii) | (vaii) | (vaii)   | (vaii) | (vaii) | (vari)    |
|                       | 1       |        | 1 1    |        | 1       |          |        |          | ersant  | du Léma |         |         |        |        |        | Т        |        |        | 1         |
| Rhône amont           | 196.80  | 273.4  |        | 2'803  |         | 3'140    | 39.93  | 1'427    |         | 48'599  | 277'924 | 221'543 | 31'256 | 36'774 | 8'248  | 15'954   | 5'631  | 15'888 | 1'137'648 |
| Dranse                | 14.92   | 23.4   | 3.88   | 308    | 335     | 389      | 3.07   | 14.65    | 10.39   | 3'401   | 36'735  | 36'763  | 5'002  | 2'103  | 422    | 1'556    |        |        | 8'182     |
| Aubonne               | 3.80    | 2.87   | 1.25   | 173    | 177     |          | 1.69   | 11.70    | 9.32    | 830     | 676     | 8'274   | 710    | 502    | 95     | 348      | 335    |        | 6'004     |
| Versoix               | 2.62    | 2.97   | 1.09   | 77.4   | 82      | 101      | 1.49   | 2.92     |         | 779     | 503     | 5'826   | 466    | 429    | 60     |          | 115    |        |           |
| Stockalper            | 2.41    | 40.0   | 2.16   | 78.7   |         |          | 0.54   | 5.69     |         |         |         |         |        |        |        |          | 184    | 286    | 1'847     |
| Venoge                | 2.36    | 9.44   | 2.99   | 298    | 310     |          | 1.96   | 10.43    | 7.81    | 1'411   | 1'562   | 6'473   | 648    | 743    | 184    | 356      | 226    |        | 3'919     |
| Veveyse               | 1.33    | 1.02   | 0.23   | 29.6   | 31      |          | 0.20   | 6.32     | 5.77    | 696     | 653     | 2'600   | 262    | 470    | 60     | 162      | 108    |        | 6'825     |
| Promenthouse          | 1.22    | 0.72   | 0.25   | 88.7   | 90      |          | 0.29   | 1.31     | 0.80    | 319     | 284     | 2'972   | 298    | 177    | 49     | 153      | 87     |        | 640       |
| Chamberonne           | 0.89    | 2.17   | 0.93   | 62.6   | 66      |          | 1.60   | 4.04     | 2.18    | 543     | 1'059   | 1'836   | 212    | 355    | 71     | 123      | 68     |        | 1'275     |
| Morges                | 0.31    | 0.41   | 0.33   | 50.4   | 51      |          | 0.38   | 1.65     | 1.16    | 189     | 274     | 922     | 106    | 94     | 31     | 72       | 33     |        | 974       |
| Nant du Pry           | 0.15    | 0.01   | 0.03   | 4.4    | 4       | 5.6      | 0.09   | 0.19     |         | 40      | 25      | 322     | 27     | 21     | 3      |          | 6      |        |           |
| Le Brassu             | 0.13    | 0.39   | 0.14   | 6.4    | 7       | 8.1      | 0.11   | 0.17     |         | 46      | 25      | 294     | 24     | 25     | 4      |          | 7      |        |           |
| Dullive               | 0.12    | 0.04   | 0.032  | 7.9    | 8       |          | 0.032  | 0.12     | 0.06    | 34      | 70      | 287     | 38     | 23     | 6      | 22       | 8      |        | 28        |
| Nant de Braille       | 0.05    | 0.04   | 0.025  | 2.3    | 2       | 2.9      | 0.071  | 0.10     |         | 18      | 15      | 112     | 11     | 10     | 2      |          | 3      |        |           |
| Eau Froide            | 0.02    | 0.05   | 0.007  | 4.9    | 5       |          | 0.004  | 0.02     | 0.01    | 9       | 23      | 47      | 4      | 10     | 2      | 3        | 2      |        | 4         |
| Total de 15 affluents | 227.1   | 353.9  |        | 3'995  |         |          | 51.43  | 1'486    |         | 56'913  | 319'827 | 288'272 | 39'065 | 41'736 | 9'237  |          | 6'813  |        |           |
|                       |         |        |        |        |         |          | Ва     | ssin ver | sant du | Rhône   | aval    |         |        |        |        | <u> </u> |        |        |           |
| Rhône émissaire       | 231.41  | 252.9  | 67.9   | 1'775  |         | 4'024    | 56.82  | 164.8    | 38.44   | 54'021  | 329'866 | 314'376 | 41'956 | 39'009 | 10'015 | 4'676    | 9'136  |        |           |
| Arve                  | 60.63   | 417.1  | 101.2  | 1'033  |         | 1'856    | 141.93 | 249.5    |         | 13'295  | 88'476  | 100'656 | 9'919  | 9'450  | 2'210  |          | 1'632  |        |           |
| Allondon              | 2.57    | 16.8   | 3.63   | 190    |         | 235      | 7.61   | 9.6      |         | 676     | 715     | 6'637   | 495    | 442    | 110    |          | 126    |        |           |
| Nant d'Avril          | 0.53    | 0.13   | 0.16   | 60.6   |         | 66.4     | 0.41   | 0.93     |         | 254     | 782     | 1'455   | 189    | 168    | 38     |          | 21     |        |           |
| Rhône Chancy          | 322.87  | 808.6  | 199.5  | 6'288  |         | 7'74     | 203.20 | 868.4    |         | 89'834  | 469'086 | 450'825 | 67'139 | 67'752 | 16'301 | 13'919   | 16'912 | 25'583 | 406'947   |

## Rapports techniques

Campagne 2003

# CONTRÔLE DES STATIONS D'ÉPURATION MONITORING OF WASTE WATER TREATMENT PLANTS (WWTP)

Campagne 2003

PAR

#### **Aline CLERC**

SECRÉTARIAT DE LA COMMISSION INTERNATIONALE POUR LA PROTECTION DES EAUX DU LÉMAN CP 80, CH - 1000 LAUSANNE 12

#### RÉSUMÉ

En 2003, 221 STEP étaient en service dans le bassin versant CIPEL (bassins hydrographiques du Léman et du Rhône aval depuis l'émissaire du lac jusqu'à la frontière franco-suisse de Chancy) totalisant une capacité nominale de 4'210'000 équivalents-habitants. Entre 1999 et 2003 dix nouvelles STEP ont été mises en service et près de 20 STEP, dont la STEP d'Aïre (Genève), ont été modernisées et agrandies.

Sur l'ensemble du bassin CIPEL, les STEP contrôlées représentent plus de 93 % de la capacité de traitement du bassin. Toutefois les débits déversés et le phosphore dissous ne sont pas suffisamment mesurés et rendent ainsi moins précis les différents bilans.

En 2003, les débits mesurés en entrée de STEP (en entrée et au point de déversement) ont diminué en raison de la faible pluviométrie. La baisse des déversements en entrée de STEP, pour les installations qui les mesurent, est très nette. Les débits spécifiques en entrée de STEP sont toujours relativement élevés par rapport à la consommation en eau par habitant et conduisent souvent à des déversements d'eaux usées en entrée de station, en cours de traitement et dans les réseaux en cas de précipitations.

Pour le bassin du Léman, les rendements globaux d'épuration de la matière organique (exprimée par la demande biochimique en oxygène − DBO₅) et du phosphore total ont augmenté, notamment grâce à la diminution des déversements. Pour le bassin du Rhône aval, le rendement d'épuration de la DBO₅ pour les eaux traitées a légèrement augmenté; l'augmentation est plus nette pour le rendement global en raison de la diminution des charges déversées.

#### **ABSTRACT**

In 2003, 221 WWTPs were in use in the CIPEL catchment basin (the hydrographic basin of Lake Geneva and the basin of the Rhône downstream from the outlow from the lake to the Franco-Swiss border at Chancy), corresponding to a nominal capacity of 4,210,000 in habitant-equivalents. Between 1999 and 2003, ten new WWTPs came into operation, and nearly 20 WWTPs, including the WWTP of Aïre (Geneva), were updated and enlarged.

Over the entire CIPEL basin, the WWTPs tested corresponded to more than 93% of the treatment capacity of the basin. However, the discharge flows and the dissolved phosphorus were not measured sufficiently often, and this made the various assessments less accurate.

In 2003, the rates of flow at the entry into the WWTP (at the entry and discharge points) fell due to the low rainfall. The reduction of inflow into the WWTPs was obvious for all the plants which measured this parameter. The specific flows into the WWTPs were always relatively high compared to the water consumption per inhabitant, and often resulted in the spillage of the untreated waste water as it enters the stations, during treatment and also within the sewerage system if rain fell.

In the case of the Lake Geneva basin, the global organic matter treatment yields (expressed as the biochemical oxygen demand-  $BOD_5$ ), and the total phosphorus yield increased, mainly due to reduced inputs. In the case of the downstream Rhône basin, the  $BOD_5$  treatment yield of the treated water rose slightly; this increase was clearer in the case of the global yield, due to the reduced discharge load.

#### 1. INTRODUCTION

Le bilan global du fonctionnement des stations d'épuration du bassin étudié et suivi par la CIPEL¹ a été établi. Il se base d'une part sur l'inventaire des installations, mis à jour au 1er janvier 2004, et d'autre part sur les mesures, sur 24 heures, de débits et de concentrations en entrée et/ou sortie des stations d'épuration (STEP).

Ce bilan regroupe les résultats selon les entités faisant partie de la CIPEL :

- Département de l'Ain
- · Canton de Genève
- · Département de la Haute-Savoie
- · Canton du Valais
- · Canton de Vaud

et selon les deux grands bassins versants :

- Léman (bassin hydrographique du lac)
- Rhône aval (bassin du Rhône de l'émissaire du lac jusqu'à Chancy).

#### 2. NOMBRE DE STEP, CAPACITÉ ET POPULATIONS RACCORDÉES

L'inventaire des raccordements et des STEP a été actualisé au cours de l'année 2003. En raison de la dispersion de l'habitat, de la connaissance insuffisante de certains réseaux et de l'évolution permanente de la situation, il ne peut être prétendu que les chiffres annoncés sont d'une parfaite exactitude; il est néanmoins admis qu'ils fournissent une bonne approche de la situation réelle en ce qui concerne les eaux usées domestiques.

La population permanente correspond à la population résidant à l'année, alors que la population saisonnière indique la capacité d'hébergement touristique (hôtels, maisons et appartements de vacances, hébergements collectifs, campings).

Le tableau 1 donne pour chaque entité le nombre de STEP, ainsi que leur capacité et les populations qui y sont raccordées. A fin 2003, 221 STEP étaient en service dans le bassin versant CIPEL; elles totalisaient une capacité nominale de 4'210'000 équivalents-habitants (EH) (à 60 g de  $DBO_5$  /EH.j). Entre 1999 et 2003 dix nouvelles STEP ont été mises en service et près de 20 STEP, dont la STEP d'Aïre (Genève) ont été modernisées et agrandies.

Tableau 1 : Etat des STEP et des populations raccordées à fin 2003

Table 1: State of the WWTP and the numbers of people connected at the end of 2003

| Bassin                               | Entité               | Nombre  | Capacité ( |                            | Habitants p |                            | Habitants s |                            |
|--------------------------------------|----------------------|---------|------------|----------------------------|-------------|----------------------------|-------------|----------------------------|
| Dassiii                              |                      | de STEP | Total      | %<br>déphos. <sup>1)</sup> | Total       | %<br>déphos. <sup>1)</sup> | Total       | %<br>déphos. <sup>1)</sup> |
|                                      | Ain                  | 3       | 19'750     | 97.7%                      | 9'708       | 96.3%                      | 5'500       | 100.0%                     |
| _                                    | Genève               | 2       | 7'625      | 100.0%                     | 5'467       | 100.0%                     | 183         | 100.0%                     |
| Léman                                | Hte-Savoie           | 18      | 199'596    | 94.6%                      | 77'777      | 93.7%                      | 130'998     | 97.5%                      |
| ۲                                    | Valais               | 70      | 1'422'507  | 99.6%                      | 261'089     | 99.5%                      | 323'006     | 98.0%                      |
|                                      | Vaud                 | 74      | 1'000'777  | 100.0%                     | 497'803     | 100.0%                     | 93'109      | 100.0%                     |
| Tota                                 | I Léman              | 167     | 2'650'255  | 99.1 %                     | 851'844     | 99.0 %                     | 552'796     | 97.1 %                     |
| aval                                 | Ain                  | 9       | 52'623     | 0.0%                       | 34'208      | 0.0%                       | 50          | 0.0%                       |
| ne a                                 | Genève <sup>2)</sup> | 14      | 1'103'407  | 0.0%                       | 446'912     | 0.0%                       | 22'563      | 0.0%                       |
| Genève <sup>2)</sup><br>된 Hte-Savoie |                      | 31      | 403'810    | 36.7%                      | 189'929     | 35.6%                      | 196'913     | 40.6%                      |
| Total F                              | Total Rhône aval     |         | 1'559'840  | 9.5 %                      | 671'049     | 10.2 %                     | 219526      | 36.4 %                     |
| Total ba                             | assin CIPEL          | 221     | 4'210'095  | 65.7 %                     | 1'522'893   | 60.3 %                     | 772'322     | 79.9 %                     |

indique les STEP pratiquant la déphosphatation (exprimé en pourcentage de la capacité) et le pourcentage d'habitants permanents et saisonniers raccordés sur des stations pratiquant la déphosphatation.

<sup>&</sup>lt;sup>2)</sup> A Genève, la STEP d'Aïre déphosphate partiellement depuis sa reconstruction.

Le bassin hydrographique du Léman et le bassin du Rhone aval depuis l'émissaire du lac jusqu'à la frontière franco-suisse de Chancy.

En 2003, le taux de raccordement de la population (habitants permanents + habitants saisonniers pondérés au 2/3) est de 93 % dans le bassin du Léman et de 85 % dans le bassin du Rhône aval. Les populations restant à raccorder sont situées principalement en Valais et en Haute-Savoie.

Tableau 2 : Nombre et capacité des STEP

Table 2: Number and capacity of the WWTP

| Bassin<br>versant | Totalité | des STEP         |      | EP de capa<br>eure à 10'00 |     | interr | P de capa<br>médiaire (<br>EH et 20'0 | entre | STEP de capacité<br>supérieure à 20'000'EH |           |        |  |
|-------------------|----------|------------------|------|----------------------------|-----|--------|---------------------------------------|-------|--|-----------|--------|--|
| versant           | STEP     | Capacité<br>(EH) | STEP | Capacité (EH)              |     | STEP   | Capacité (EH)                         |       | STEP Capacité (El                          |           | E(EH)  |  |
| Léman             | 167      | 2'650'255        | 121  | 274'794                    | 10% | 18     | 251'126                               | 10%   | 28   | 2'124'335 | 80%    |  |
| Rhône<br>aval     | 54       | 1'559'840        | 35   | 93'287 6%                  |     | 5      | 71'233                                | 5%    | 14   | 1'395'320 | 89%    |  |
| Total             | 221      | 4'210'095        | 156  | 368'081 8.7 %              |     | 23     | 322'359                               | 7.7 % | 42   | 3519655   | 83.6 % |  |

Pour le bassin du Léman, les 28 STEP de capacité égale ou supérieure à 20'000 équivalents-habitants (EH) (à 60 g de  $DBO_5$  /EH.j) représentent plus de 80% de la capacité totale. En prenant en compte les STEP de capacité égale ou supérieure à 10'000 équivalents-habitants (EH), la capacité représentée par ces STEP de taille moyenne à grande s'élève alors à 90 % de la capacité totale pour 46 STEP. Dans le bassin CIPEL, les 156 STEP de capacité inférieure à 10'000 EH représentent moins de 10 % de la capacité.

#### 3. CONTRÔLES

Le tableau 3 indique le nombre et l'importance des contrôles (mesure des débits et analyses des eaux) effectués par les services compétents. Il prend également en compte les résultats de l'autosurveillance réalisée par les gestionnaires des stations. Globalement les STEP contrôlées représentent plus de 93 % de la capacité totale du bassin versant CIPEL. Ce pourcentage est stable par rapport à l'année 2002.

Toutefois, le tableau 3 indique que dans certaines entités des efforts doivent encore être faits pour améliorer le contrôle des STEP. Dans le bassin du Léman, le canton du Valais et le département de la Haute-Savoie doivent augmenter les contrôles des petites stations (généralement sans déphosphatation), de même dans le bassin du Rhône aval pour le département de la Haute-Savoie. Pour le canton de Genève, des retards pris dans les processus de mise au point de la validation de l'autosurveillance effectuée par les exploitants expliquent le nombre plus élevé qu'en 2002 de STEP non contrôlées pour le bassin du Rhône aval. En Valais, les contrôles annuels en 2003 et 2004 sont moins fréquents en raison de la procédure de certification du laboratoire cantonal en cours.

Les contrôles pris en compte pour ce bilan ne comprennent pas systématiquement les mesures des débits déversés ou du phosphore dissous. La mesure plus fréquente de ces deux paramètres permettrait pourtant de mieux connaître le fonctionnement réel des installations quant à l'abattement du phosphore dont la concentration dans le Léman est encore trop élevée (33  $\mu$ g P/L pour un objectif d'environ 20  $\mu$ gP/L). Des estimations des flux en phosphore total déversés sans être mesurés sont présentées aux chapitres 4.1 et 4.3.

Le nombre de STEP dont les résultats ont été utilisés pour élaborer les différents bilans présentés ci-après varie selon les paramètres analysés.

Tableau 3 : Nombre de contrôles effectués en 2003 avec analyses des eaux et mesure de débits

(prélèvements de 24 h)

Table 3: Number of tests carried out in 2003, including analyses of the water and measurement of the

flow rates (24-h samples)

| BV*   | Contrôles 1)   |          | Ain    | Genève    | Hte-Savoie | Valais    | Vaud 2)   | Total     |
|-------|----------------|----------|--------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|
|       | STEP non       | Cap. 60g |        |           | 31'476     | 19'047    |           | 50'523    |
|       | contrôlées     | STEP     |        |           | 12         | 21        |           | 33        |
|       | De 1 à 3       | Cap. 60g | 450    |           | 570        | 64'264    |           | 65'284    |
| nan   | contrôles      | STEP     | 1      |           | 2          | 10        |           | 13        |
| Léman | De 4 à 11      | Cap. 60g |        | 125       | 5'200      | 13'150    | 188       | 18'663    |
|       | contrôles      | STEP     |        | 1         | 1          | 2         | 1         | 5         |
|       | 12 contrôles   | Cap. 60g | 19'300 | 7500      | 162'350    | 1'326'046 | 1'000'589 | 2'515'785 |
|       | et plus        | STEP     | 2      | 1         | 3          | 37        | 73        | 116       |
| Total | l Léman        | Cap. 60g | 19'750 | 7'625     | 199'596    | 1'422'507 | 1'000'777 | 2'650'255 |
| TOtal | Leman          | STEP     | 3      | 2         | 18         | 69        | 74        | 167       |
|       | STEP non       | Cap. 60g |        | 10'810    | 211'160    |           |           | 221'970   |
|       | contrôlées     | STEP     |        | 7         | 25         |           |           | 32        |
| aval  | De 1 à 3       | Cap. 60g | 6'563  |           |            |           |           | 6'563     |
|       | contrôles      | STEP     | 6      |           |            |           |           | 6         |
| Rhône | De 4 à 11      | Cap. 60g |        | 94        |            |           |           | 94        |
| 奁     | contrôles      | STEP     |        | 1         |            |           |           | 1         |
|       | 12 contrôles   | Cap. 60g | 46'060 | 1'092'503 | 192'650    |           |           | 1'331'213 |
|       | et plus        | STEP     | 3      | 6         | 6          |           |           | 15        |
| Total | l Rhône aval   | Cap 60g. | 52'623 | 1'103'407 | 403'810    | 0         | 0         | 1'559'840 |
| Total | i Kilolie avai | STEP     | 9      | 14        | 31         | 0         | 0         | 54        |

<sup>\*</sup> BV = basin versant

STEP non contrôlées : STEP sans contrôle

De 1 à 3 contrôles : STEP avec contrôles instantanés ou moins de 4 contrôles complets (analyses des

eaux en entrée et sortie et mesure de débits)

De 4 à 11 contrôles : STEP avec 4 à 11 contrôles complets (analyses des eaux en entrée et sortie et

mesure de débits)

12 contrôles et plus : STEP avec plus de 11 contrôles complets (analyses des eaux en entrée et sortie

et mesure de débits).

#### 4. BILAN DES FLUX ET RENDEMENTS D'ÉPURATION

La compilation des données a été réalisée à deux niveaux :

- sur l'ensemble des données, généralement regroupées par bassin versant, afin d'obtenir une vision générale,
- sur les données des stations d'une capacité de traitement supérieure à 10'000 EH, qui bénéficient généralement de contrôles plus fréquents et plus complets. En effet, les résultats des STEP procédant à des analyses régulières et équipées de mesure de débits sur les eaux traitées et déversées (mesures journalières ou mieux encore mesures horaires) permettent d'avoir une vision plus complète du fonctionnement de la station d'épuration, et fournissent une image toute différente du fonctionnement du couple réseau-STEP. Les stations de capacité supérieure à 10'000 EH représentent plus de 91 % de la capacité totale et traitent les eaux usées de plus de 85 % de la population raccordée dans le bassin CIPEL.

Les bilans complets des flux, rendements et concentrations pour la DBO<sub>5</sub>, le phosphore total et le phosphore dissous sont présentés en annexe (Annexes 1 à 4).

Les STEP vaudoises sont contrôlées 15 fois par année (mesure de débits et analyse des eaux de sortie); toutefois les concentrations en entrée ne sont pas systématiquement mesurées, mais parfois calculées sur la base de la connaissance des raccordements.

#### 4.1 Débits

Le tableau 4 présente les débits mesurés dans les stations d'épuration pour l'année 2003. Pour le bassin du Léman, le débit global d'entrée d'environ 469'000 m³/j est plus faible que celui mesuré en 2002. Les débits déversés en entrée (pour les installations disposant de cette mesure) sont en nette diminution avec 5'000 m³/j contre environ 19'000 m³/j en 2002 et les débits déversés en cours de traitement (pour les installations disposant de cette mesure ou pouvant la calculer par différence) sont au même niveau qu'en 2002. Par rapport au débit d'entrée, la proportion de débit déversé en entrée a diminué plus fortement que celle du débit déversé en cours de traitement (notamment au décanteur primaire). Cette évolution s'explique par une pluviométrie nettement inférieure en 2003 (QUETIN, 2004) et est illustrée par les figures 1 et 2 qui présentent les débits journaliers cumulés de 18 STEP du bassin CIPEL en 2002 et 2003.

Les débits spécifiques (par temps sec) transitant par les réseaux et parvenant aux STEP montrent clairement que les réseaux transportent une quantité non négligeable, voire considérable, d'eaux claires permanentes qui n'ont pas leur place dans les réseaux d'eaux usées. En effet, pour une consommation d'eau de 160 à 200 litres par personne et par jour, certains réseaux transportent plus de 800 litres. Les eaux claires permanentes sont, par exemple, les eaux de fontaines ou de captage de sources, les eaux de drainage ou encore les eaux souterraines. Ces eaux surchargent inutilement les réseaux et provoquent des déversements plus volumineux ou plus fréquents. Un contrôle du réseau permet de déterminer les origines de ces eaux et de supprimer une partie de ces apports. Les débits spécifiques sont plus faibles en 2003, ce qui démontre l'influence des précipitations sur les volumes d'eaux transportés par les réseaux même en temps sec (en raison notamment du phénomène de drainage).

Tableau 4 : Débits journaliers mesurés dans les STEP du bassin CIPEL en 2003

Table 4: Daily flows through the WWTP of the CIPEL basin in 2003

| BV*           | Canton /         | Nombre de          | Capacité            | Population raccordée (perm.+ 2/3     | Dé                                    | bit journali      | er mesuré (m                                       | <sup>3</sup> /j) | Débit<br>spécifique         |
|---------------|------------------|--------------------|---------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|-------------------|--|------------------|-----------------------------|
|               | Départe-<br>ment | STEP<br>contrôlées | (60gDBO₅/<br>hab.j) | sais.) sur<br>les STEP<br>contrôlées | Déversé<br>en<br>entrée <sup>1)</sup> | Entrée<br>de STEP | Déversé en<br>cours de<br>traitement <sup>1)</sup> | Sortie           | en l/hab.jour <sup>2)</sup> |
|               | Ain              | 2                  | 19'300              | 13'011                               | 0                                     | 6'992             | 0  | 6'992            | 626                         |
| Ę             | Genève           | 2                  | 7'625               | 5'589                                | 0                                     | 2'377             | 0  | 2'369            | 429                         |
| Léman         | Hte-Savoie       | 4                  | 167'550             | 137'081                              | 155                                   | 27'717            | 0  | 27'791           | 255                         |
|               | Valais           | 52                 | 1'406'397           | 463'683                              | 5                                     | 196'904           | 693  | 196'201          | 488                         |
|               | Vaud             | 74                 | 1'000'777           | 559'876                              | 4'914                                 | 235'364           | 14'496   | 220'885          | 402                         |
| Total         | Léman            | 134                | 2'601'649           | 1'179'239                            | 5'074                                 | 469'355           | 15'188   | 454'237          | 418                         |
| aval          | Ain              | 3                  | 46'060              | 30'335                               | 414                                   | 11'002            | 0  | 11'002           | 377                         |
| Rhône         | Genève           | 6                  | 1'092'503           | 454'600                              | 7'869                                 | 203'926           | 10'326   | 186'357          | 425                         |
| 臣             | Hte-Savoie       | 6                  | 192'650             | 154'554                              | 1'979                                 | 38'557            | 3'445  | 35'018           | 298                         |
| Total<br>aval | Rhône            | 15                 | 1'331'213           | 639'489                              | 10'262                                | 253'484           | 13'771   | 232'377          | 394                         |
| Total         | BV CIPEL         | 149                | 3'932'862           | 1'818'728                            | 15'335                                | 722'839           | 28'959   | 686'614          | 409                         |

<sup>\*</sup> BV = bassin versant

Les débits déversés sont sous-estimés étant donné que toutes les stations ne les mesurent pas.

<sup>&</sup>lt;sup>2)</sup> Le débit spécifique est calculé sur la base des mesures effectuées par temps sec.

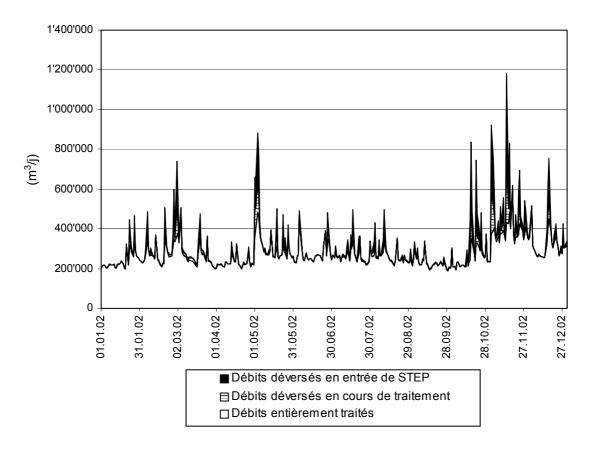


Figure 1 : Débits journaliers de 18 STEP du bassin CIPEL en 2002 Figure 1 : Daily flow rates of 18 WWTPs in the CIPEL basin in 2002

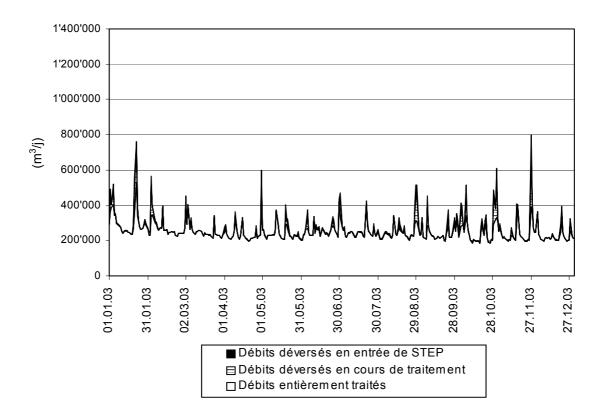


Figure 2 : Débits journaliers de ces mêmes 18 STEP du bassin CIPEL en 2003 Figure 2 : Daily flow rates for the same 18 WWTPs in the CIPEL basin in 2003

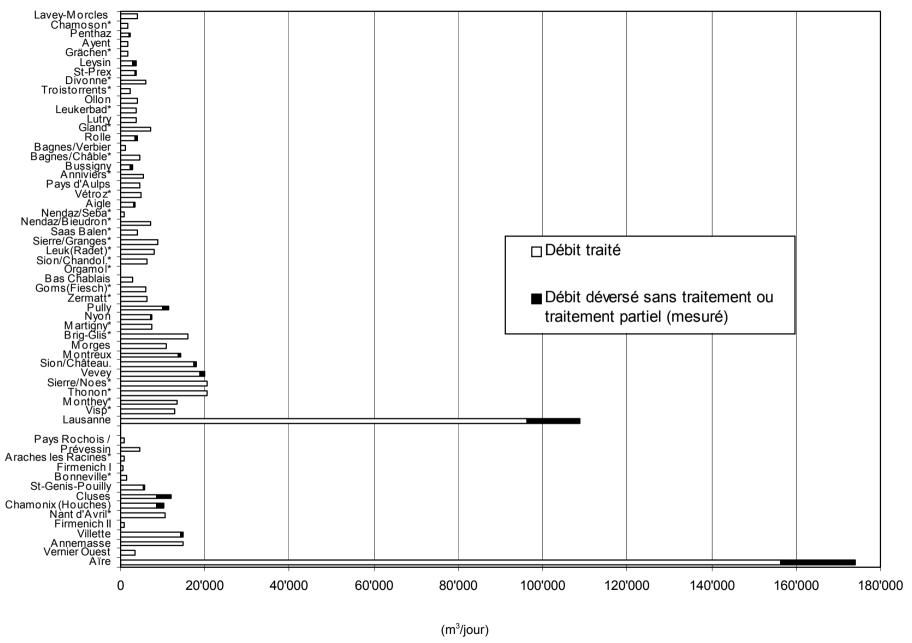


Figure 3 : Débits journaliers traités et déversés sans traitement biologique en 2003 (déversés à l'entrée et/ou en cours de traitement) STEP suivies d'une \* : - sans information au sujet des éventuels débits déversés

Figure 3: Daily flows discharged after processing or without any biological treatment (discharge at the entry point and/or during traitment)

#### 4.2. Demande biochimique en oxygène (DBO<sub>5</sub>)

Le tableau 5 présente le bilan de l'épuration pour la matière organique exprimée par la demande biochimique en oxygène (DBO $_5$ ). Il faut relever que les performances de l'épuration, 94 %, sur les eaux traitées, sont en nette hausse par rapport à 2002 (90 %) pour le bassin du Léman. Pour le Rhône aval, le rendement est également en hausse. Le rendement global, favorablement influencé par la diminution des déversements, s'est amélioré en 2003 dans tout le bassin CIPEL.

Tableau 5 : Bilan des charges, concentrations et rendements pour la DBO₅ pour les STEP des différentes entités en 2003 (pour les STEP contrôlées représentant 90 % de la capacité totale)

Table 5: Assessment of the loads, concentrations and yields of DBO<sub>5</sub> for the WWTP of the various entities in 2003 (for the WWTP tested, corresponding to 90 % of the total capacity)

|                   |                   |                | Charges             |                               | (              | Concentrat             | ions                    | Rendem | ent en % |
|-------------------|-------------------|----------------|---------------------|-------------------------------|----------------|------------------------|-------------------------|--------|----------|
|                   | Cantons et        | Tonr           | nes par an (3       | 65 jours)                     |                | mgO <sub>2</sub> /litr | re .                    |        |          |
| Bassins versants  | Départe-<br>ments |                | Déve                | rsées                         |                | Dév                    | ersées                  | ]      | Traité + |
| Volodina          |                   | Eaux<br>brutes | Après<br>traitement | Sans<br>traitement<br>complet | Eaux<br>brutes | Traitées               | Traitées +<br>déversées | Traité | déversé  |
| Ain               |                   | 162            | 8                   | 0                             | 63             | 3                      | 3                       | 95%    | 95%      |
| _ Genève          |                   | 99             | 6                   | 0                             | 115            | 7                      | 7                       | 94%    | -        |
| Léman             | Hte-Savoie        | 2'114          | 392                 | 3                             | 203            | 38                     | 38                      | 81%    | 81%      |
|                   | Valais            | 19'691         | 555                 | 13                            | 301            | 9                      | 9                       | 97%    | 97%      |
|                   | Vaud              | 12'179         | 1'204               | 604                           | 146            | 16                     | 22                      | 90%    | 85%      |
| val               | Ain               | 613            | 58                  | 17                            | 147            | 14                     | 18                      | 90%    | 88%      |
| Rhône aval        | Genève            | 20'418         | 937                 | 1'263                         | 266            | 13                     | 29                      | 95%    | 89%      |
| ੍ਰਿ<br>Hte-Savoie |                   | 2'751          | 236                 | 227                           | 184            | 18                     | 31                      | 91%    | 83%      |
| Léman             |                   | 34'246         | 2'166               | 620                           | 211            | 14                     | 17                      | 94%    | 92%      |
| Rhône A           | val               | 23'782         | 1'231               | 1'507                         | 248            | 14                     | 29                      | 95%    | 88%      |
| Bassin C          | Bassin CIPEL      |                | 3'397               | 2'127                         | 225            | 14                     | 21                      | 94%    | 90%      |

Les rendements d'épuration sont représentés sur la figure 4 qui met en évidence l'influence des déversements de charges non traitées sur le rendement d'épuration global, et ceci particulièrement pour le bassin versant du Rhône aval. Ces chiffres doivent toutefois être considérés avec précaution car les STEP représentées ne sont pas toutes contrôlées à la même fréquence (de 15 à 250 contrôles annuels). De plus, certaines STEP ne disposent pas de mesures des débits déversés, ce qui induit une sous-estimation des flux rejetés.

#### 4.3 Phosphore total et phosphore dissous (P-PO<sub>4</sub>)

En Suisse et pour les bassins versants des lacs, les normes actuelles sont les suivantes : concentration du rejet 0.8 mgP/L et rendement de 80 % (OEaux, 1998). L'autorité peut renforcer ou compléter les exigences suivant les situations.

L'arrêté ministériel français du 22 décembre 1994 indique pour les stations d'épuration de plus de 2'000 équivalents-habitants et pour les zones sensibles au phosphore (comme le bassin du Léman) : une concentration du rejet de 2 mgP/L pour une charge brute en matière organique (MO) de 600 à 6'000 kg/jour; une concentration du rejet de 1 mgP/L pour une charge brute en MO supérieure à 6'000 kg/jour et un rendement de 80 % pour une charge en MO dépassant 600 kg/jour.

La Commission internationale pour la protection des eaux du Léman a adopté en octobre 2000 le plan d'action 2001-2010 qui fixe un objectif de 95 % de rendement en moyenne annuelle pour les eaux traitées.

Le tableau 6 présente le bilan de l'épuration du phosphore total pour l'année 2003. La déphosphatation n'étant obligatoire que pour le bassin du Léman, les chiffres concernant le bassin du Rhône aval ne sont cités qu'à titre informatif. Les STEP contrôlées représentent 93 % de la capacité des STEP du bassin du Léman. A l'entrée des STEP, les charges mesurées sont en baisse d'environ 90 tonnes. Par rapport à 2002, les rendements sont en hausse aussi bien pour les eaux traitées (de 87 % à 89 %) que pour les eaux traitées et déversées (le rendement global passant de 83 % à 86 %). Conséquence de la diminution des charges en entrée conjuguée à la hausse du rendement, les flux rejetés diminuent passant de 151 tonnes en 2002 à 110 tonnes en 2003.

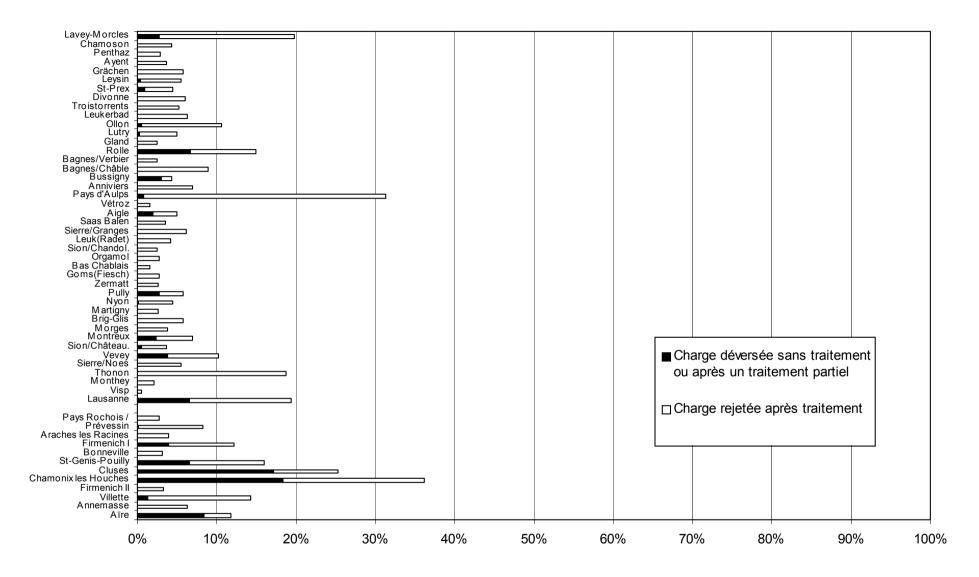


Figure 4 : Charge journalière organique (DBO<sub>5</sub>) traitée et déversée sans traitement exprimée en % de la charge totale entrante dans les principales STEP (de capacité égale ou supérieure à 10'000 EH (60 gDBO<sub>5</sub>/hab.jour). Les stations sont triées par bassin versant (Léman et Rhône aval) et ensuite par capacité.

Figure 4: Daily loads of Biochemical Oxygen Demand (DBO<sub>5</sub>) treated and discharged without treatment, expressed as a percentage of the total load in the main WWTP (with a capacity equal to or greater than 10,000 EH (60 gDBO<sub>5</sub> /inhab.day). The plants are sorted by catchment basin (Lake Geneva and the downstream Rhône), and then in order of increasing capacity.

Tableau 6: Bilan des charges, concentrations et rendements pour le phosphore total pour les STEP des

différentes entités en 2003

Table 6: Assessments of loads, concentrations and yields of total phosphorus for the WWTP of the various entities in 2003

|                  |                            |                | Charges                  | 3                             | (              | Concentra | tions                   |        |                     |  |
|------------------|----------------------------|----------------|--------------------------|-------------------------------|----------------|-----------|-------------------------|--------|---------------------|--|
|                  |                            | Tonne          | s par an (               | 365 jours)                    |                | mg Ptot/l | itre                    | Rendem | nent en %           |  |
| Bassins versants | Cantons et<br>Départements |                | Déversées                |                               |                | Dév       | ersées                  |        |                     |  |
| versants         | Departements               | Eaux<br>brutes | Après<br>traite-<br>ment | Sans<br>traitement<br>complet | Eaux<br>brutes | Traitées  | Traitées +<br>déversées | Traité | Traité +<br>déversé |  |
|                  | Ain                        | 8              | 2                        | 0                             | 2.81           | 0.61      | 0.61                    | 78%    | 78%                 |  |
| Genève           |                            | 4              | 1                        | 0                             | 4.1            | 0.67      | 0.67                    | 84%    | 84%                 |  |
| Léman            | Haute-Savoie               | 74             | 13                       | 0                             | 6.98           | 1.25      | 1.26                    | 82%    | 82%                 |  |
|                  | Valais                     | 292            | 31                       | 1                             | 4.45           | 0.47      | 0.48                    | 89%    | 89%                 |  |
|                  | Vaud                       | 402            | 40                       | 23                            | 4.91           | 0.53      | 0.77                    | 90%    | 84%                 |  |
|                  | Ain                        | 26             | 14                       | 0                             | 6.41           | 3.55      | 3.51                    | 45%    | 45%                 |  |
| Rhône<br>Aval    | Genève                     | 383            | 95                       | 24                            | 4.91           | 1.38      | 1.52                    | 75%    | 69%                 |  |
| Haute-Savoie     |                            | 100            | 39                       | 7                             | 6.79           | 3.08      | 3.14                    | 60%    | 54%                 |  |
| Léman            |                            | 778            | 86                       | 24                            | 4.82           | 0.56      | 0.68                    | 89%    | 86%                 |  |
| Rhône A          | Rhône Aval                 |                | 148                      | 31                            | 5.25           | 1.73      | 1.85                    | 70%    | 65%                 |  |
| Bassin C         | IPEL                       | 1287           | 235                      | 55                            | 4.98           | 0.97      | 1.12                    | 82%    | 78%                 |  |

La figure 5 indique l'évolution du rendement d'abattement du phosphore total entre 1990 et 2003. La figure 6 présente l'évolution entre 1991 et 2003 des charges en phosphore total rejetées dans le bassin du Léman. Les charges déversées ne sont indiquées qu'à partir de l'année 1995 pour les charges mesurées et de l'année 2000 pour les charges estimées. Pour 2003, il est estimé que les charges déversées par les STEP qui ne mesurent pas les débits déversés représentent plus du 70 % des charges déversées mesurées. La figure 7 indique pour les stations de plus de 10'000 EH les pourcentages respectifs des charges journalières rejetées après traitement et déversées. Pour les installations ne disposant pas de la mesure des déversements, le pourcentage moyen de déversement a été utilisé pour calculer les charges déversées. Ce pourcentage a été calculé pour les stations qui ont mesuré les déversements en 2003; il est de 5.7 % des charges entrantes.

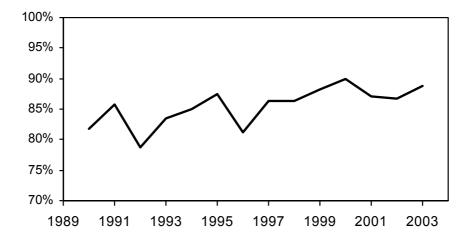


Figure 5 : Evolution entre 1990 et 2003 du rendement d'abattement du phosphore total sur les eaux traitées des STEP du bassin du Léman (source : Données CIPEL)

Figure 5 : Change between 1990 and 2003 in the elimination yield of total phosphorus in the treated water from the WWTPs of the Lake Geneva basin (source: CIPEL data)

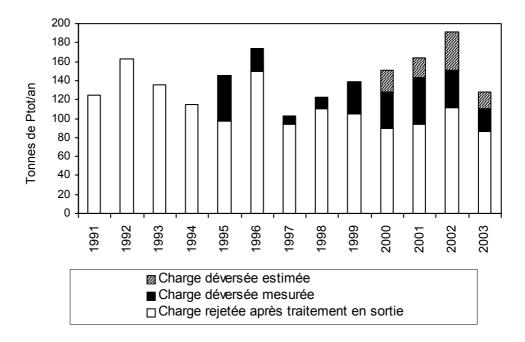


Figure 6 : Evolution des charges en phosphore total rejetée dans le bassin du Léman entre 1991 et 2003

Figure 6: Change in the total phosphorus loads discharged into the Lake Geneva basin between 1991 and 2003

Pour le phosphore dissous (P-PO<sub>4</sub>), il n'est pas possible de faire une synthèse globale, en raison du manque de données. En effet, le paramètre P-PO<sub>4</sub> n'a pas été systématiquement analysé sur les eaux d'entrée brutes et sur les eaux traitées lors des contrôles effectués. Les résultats disponibles, représentant 39 % de la capacité des STEP du bassin versant du Léman, sont présentés en annexe 4.

Pour les STEP ayant effectué ces contrôles, le rendement moyen d'abattement de P-PO $_4$  est en baisse par rapport à celui observé pour l'année 2002, mais, conséquence des flux moins élevés en entrée de STEP, les concentrations en sortie sont en baisse. Le rendement sur les eaux traitées passe de 95 % à 92 % pour une concentration moyenne de sortie de 0.15 mgP/L. En baisse également, le rendement global (prenant en compte les charges déversées en entrée ou au décanteur primaire) s'élève à 90 % avec une concentration moyenne de sortie de 0.23 mgP/L.

Le phosphore dissous (directement biodisponible) contribue grandement à l'eutrophisation du Léman; sa mesure est essentielle et doit être effectuée comme prévu par les recommandations, c'est-à-dire lors de chaque contrôle du phosphore total à l'entrée et à la sortie de la STEP.

#### 5. CONCLUSIONS

#### Contrôles

Sur l'ensemble du bassin CIPEL, le taux de contrôle des STEP est globalement satisfaisant. Les STEP contrôlées représentent plus de 93 % de la capacité de traitement du bassin. Il conviendrait de systématiser les procédures de validation des autocontrôles et de traiter ces données pour en faire des bilans dans toutes les entités.

Les débits déversés et le phosphore dissous ne sont pas suffisamment mesurés et rendent ainsi moins précis les différents bilans. Concernant les déversements, il conviendra de mieux connaître, pour les différentes STEP, l'existence de points de déversement et, le cas échéant, de mesurer ces débits. Dans de nombreuses STEP le phosphore dissous n'est analysé qu'en sortie de STEP et il n'est ainsi pas possible de calculer le rendement d'abattement.

#### **Débits**

La faible pluviométrie observée en 2003 a eu des effets positifs pour les débits transitant par les systèmes d'assainissement. Les débits déversés en entrée de STEP ont diminué et avec eux les charges rejetées sans traitement dans le lac et les cours d'eau. Par rapport à 2002, les débits spécifiques par habitant ont été inférieurs, conséquence de la faible pluviométrie; ce phénomène illustre la sensibilité des réseaux aux précipitations. Afin de mieux connaître et ensuite maîtriser les réseaux, plusieurs mesures peuvent être envisagées selon le type de réseau : séparation des eaux claires parasites, création de bassin de stockage, analyse détaillée du réseau et optimisation de son fonctionnement.

#### Fonctionnement des STEP

Pour le bassin du Léman, les rendements globaux d'épuration de la matière organique exprimée par la demande biochimique en oxygène (DBO $_5$ ) et du phosphore total (en tenant compte des charges déversées en entrée de STEP ou en cours de traitement) ont augmenté, notamment grâce à la diminution des déversements. Pour le bassin du Rhône aval, le rendement d'épuration de la DBO $_5$  pour les eaux traitées a légèrement augmenté. L'augmentation est plus nette pour le rendement global en raison de la diminution des débits déversés en cours de traitement par la nouvelle STEP d'Aïre qui est devenue pleinement opérationnelle en 2003.

La diminution des charges déversées en entrée et en cours de traitement ainsi que l'augmentation des rendements ne devraient pas dépendre uniquement des précipitations, phénomène très aléatoire qui peut les influencer positivement ou négativement. Afin d'améliorer durablement les performances des STEP et des réseaux, il est nécessaire de poursuivre ou d'engager des travaux importants sur les réseaux et les stations. Le choix des travaux à entreprendre doit se baser sur des mesures (débits / analyses des eaux); des priorités d'actions doivent être définies, notamment en fonction du rapport entre l'augmentation de la dépollution et les coûts engendrés.

#### **BIBLIOGRAPHIE**

CLERC, A. (2003) : Contrôle des stations d'épuration. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2002, 141-159.

QUETIN, P. (2004): Météorologie. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2003, 19-29.

Remerciements : L'auteur tient à remercier les services gestionnaires des stations d'épuration qui ont fourni leurs résultats d'analyses utilisés pour ce rapport et les responsables cantonaux et départementaux qui ont validé et transmis ces résultats.

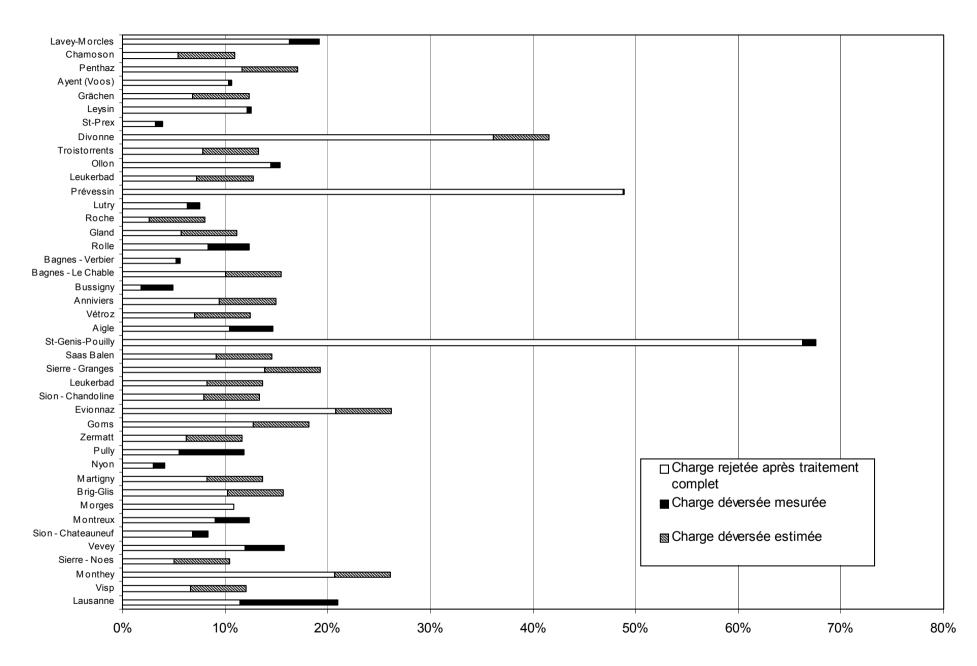


Figure 7 : Charges journalières en phosphore total rejetées après traitement et déversées sans traitement, exprimées en % de la charge totale. Seules les stations du bassin du Léman de capacité égale ou supérieures à 10'000 EH sont indiquées, triées dans l'ordre croissant de leur capacité.

Figure 7: Daily loads of total phosphorus treated and discharged without treatment, expressed as a percentage of the total load. Only the plants in the Lake Geneva basin with a capacity equal to or greater than 10,000 EH are reported; they are listed in order of increasing capacity.

**ANNEXE 1**: Contrôle et fonctionnement des STEP pour la matière organique exprimée en DBO<sub>5</sub> en 2003

APPENDIX 1: Testing and function of the WWTP for organic matter, expressed as DBO<sub>5</sub> in 2003

| Canton/<br>départe- | Bassin<br>versant | total de des S | Capacité totale<br>des STEP (60 g<br>DBO <sub>5</sub> /hab.j) | Nombre de<br>STEP | TEP   STEP controlees | STEP<br>contrôlées     | Population<br>raccordée (perm.+       |         |         | ébit<br>/jour                       |   |
|---------------------|-------------------|----------------|---|-------------------|-----------------------|------------------------|---------------------------------------|---------|---------|-------------------------------------|---|
| ment                |                   |                |   | contrôlées        |                       | en % de la<br>capacité | 2/3 sais.) sur les<br>STEP contrôlées | total   | traité  | déversé à<br>l'entrée <sup>1)</sup> | déversé en<br>cours de<br>traitement 1) |
| Ain                 |                   | 3              | 19'750  | 2                 | 19'300                | 98%                    | 13'011                                | 7'061   | 7'061   | 0                                   | 0                                       |
| Genève              |                   | 2              | 7'625   | 2                 | 7'625                 | 100%                   | 5'589                                 | 2'377   | 2'369   | 0                                   | 0                                       |
| Hte-Savoie          | Léman             | 18             | 199'596   | 4                 | 167'550               | 84%                    | 137'081                               | 28'473  | 28'521  | 33                                  | 0                                       |
| Valais              |                   | 70             | 1'422'507   | 46                | 1'348'535             | 95%                    | 440'594                               | 179'247 | 178'952 | 0                                   | 291                                     |
| Vaud                |                   | 74             | 1'000'777   | 29                | 922'627               | 92%                    | 503'334                               | 227'771 | 209'666 | 5'338                               | 12'767                                  |
| Total Lémai         | n                 | 167            | 2'650'255   | 83                | 2'465'637             | 94%                    | 1'099'609                             | 444'930 | 426'569 | 5'371                               | 13'059                                  |
| Ain                 |                   | 9              | 52'623  | 3                 | 46'060                | 88%                    | 30'335                                | 11'415  | 11'002  | 414                                 | 0                                       |
| Genève              | Rhône aval        | 14             | 1'103'407   | 6                 | 1'092'503             | 99%                    | 454'600                               | 210'115 | 190'520 | 8'109                               | 12'040                                  |
| Hte-Savoie          |                   | 31             | 403'810   | 6                 | 192'650               | 48%                    | 154'554                               | 41'025  | 35'405  | 1'975                               | 3'708                                   |
| Total Rhône         | e aval            | 54             | 1'559'840   | 15                | 1'331'213             | 85%                    | 639'489                               | 262'556 | 236'927 | 10'497                              | 15'748                                  |
| Total Bassin CIPEL  |                   | 221            | 4'210'095   | 98                | 3'796'850             | 90%                    | 1'739'098                             | 707'485 | 663'496 | 15'868                              | 28'807                                  |

| Canton/          | Pagain            |                      | Flux de mati          | ières organiqu    | ıes en kg O₂/jour                   |   | Concentration | en DBO₅ (mạ       | g O <sub>2</sub> /L)            | Rendemei<br>(pondéré pai | •   |
|------------------|-------------------|----------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------------------|---|---------------|-------------------|---------------------------------|--------------------------|-----|
| départe-<br>ment | Bassin<br>versant | Entrée<br>flux total | Entrée flux<br>traité | Sortie<br>traitée | Déversé à<br>l'entrée <sup>1)</sup> | Déversé en<br>cours de<br>traitement 1) | Entrée        | Sortie<br>traitée | Sortie<br>traitée +<br>déversée | Eaux traitées            |     |
| Ain              |                   |                      | 443                   | 23                | 0                                   | 0                                       | 62.69         | 3.25              | 3.25                            | 95%                      | 95% |
| Genève           | 1                 | 272                  | 272                   | 16                | 0                                   | 0                                       | 114.59        | 6.83              | 6.83                            | 94%                      | -   |
| Hte-Savoie       | Léman             | 5'793                | 5'785                 | 1'074             | 8                                   | 0                                       | 203.45        | 37.64             | 37.88                           | 81%                      | 81% |
| Valais           | 1                 | 53'948               | 53'948                | 1'521             | 0                                   | 34                                      | 300.97        | 8.50              | 8.68                            | 97%                      | 97% |
| Vaud             |                   | 33'368               | 32'855                | 3'300             | 513                                 | 1'142                                   | 146.50        | 15.74             | 21.75                           | 90%                      | 85% |
| Total Lémai      | า                 | 93'824               | 93'302                | 5'934             | 521                                 | 1'176                                   | 210.87        | 13.91             | 17.15                           | 94%                      | 92% |
| Ain              |                   | 1'680                | 1'634                 | 158               | 47                                  | 0                                       | 147.20        | 14.37             | 17.94                           | 90%                      | 88% |
| Genève           | Rhône aval        | 55'939               | 54'344                | 2'568             | 1'595                               | 1'865                                   | 266.23        | 13.48             | 28.61                           | 95%                      | 89% |
| Hte-Savoie       | 7'536             | 7'265                | 646                   | 271               | 351                                 | 183.69                                  | 18.24         | 30.86             | 91%                             | 83%                      |     |
| Total Rhône      | aval              | 65'155               | 63'242                | 3'372             | 1'913                               | 2'216                                   | 248.16        | 14.23             | 28.50                           | 95%                      | 88% |
| Total Bassii     | n CIPEL           | 158'979              | 156'545               | 9'306             | 2'434                               | 3'392                                   | 224.71        | 14.03             | 21.37                           | 94%                      | 90% |

<sup>1)</sup> Les déversements sont sous-estimés étant donné que toutes les stations ne mesurent pas les débits déversés.

**ANNEXE 2:** Contrôle et fonctionnement des STEP pour le phosphore total en 2003

**APPENDIX 2:** Testing and function of the WWTP for total phosphorus in 2003

| Canton/          | Bassin     | Nombre           | Capacité totale               | Nombre de          | Capacité des                          | STEP<br>contrôlées | Population raccordée (perm.+          |         | Débit<br>m³/jour |                       |   |  |
|------------------|------------|------------------|-------------------------------|--------------------|---------------------------------------|--------------------|---------------------------------------|---------|------------------|-----------------------|---|--|
| départe-<br>ment | versant    | total de<br>STEP | des STEP (60 g<br>DBO₅/hab.j) | STEP<br>contrôlées | STEP contrôlées<br>(60 g DBO₅/ hab.j) | on % do la         | 2/3 sais.) sur les<br>STEP contrôlées | total   | traité           | déversé <sup>1)</sup> | déversé en<br>cours de<br>traitement 1) |  |
| Ain              |            | 3                | 19'750                        | 2                  | 19'300                                | 98%                | 13'011                                | 7'404   | 7'404            | 0                     | 0                                       |  |
| Genève           |            | 2                | 7'625                         | 2                  | 7'625                                 | 100%               | 5'589                                 | 2'377   | 2369             | 0                     | 0                                       |  |
| Hte-Savoie       | Léman      | 18               | 199'596                       | 4                  | 167550                                | 84%                | 137'081                               | 28'861  | 28'895           | 45                    | 0                                       |  |
| Valais           |            | 70               | 1'422'507                     | 46                 | 1'348'535                             | 95%                | 440'594                               | 179'785 | 179'265          | 0                     | 513                                     |  |
| Vaud             |            | 74               | 1'000'777                     | 29                 | 922'627                               | 92%                | 503'334                               | 224'186 | 206'734          | 4'638                 | 12'814                                  |  |
| Total Léma       | n          | 167              | 2'650'255                     | 83                 | 2'465'637                             | 93%                | 1'099'609                             | 442'613 | 424'667          | 4'683                 | 13'327                                  |  |
| Ain              |            | 9                | 52'623                        | 3                  | 46'060                                | 88%                | 30'335                                | 11'218  | 11'003           | 216                   | 0                                       |  |
| Genève           | Rhône aval | 14               | 1'103'407                     | 4                  | 1'016'670                             | 92%                | 452'935                               | 213'702 | 188'830          | 6'357                 | 12'295                                  |  |
| Hte-Savoie       |            | 31               | 403'810                       | 5                  | 182'650                               | 45%                | 150'544                               | 40'396  | 34'941           | 1'925                 | 3'729                                   |  |
| Total Rhône      | e aval     | 54               | 1'559'840                     | 12                 | 1'245'380                             | 80%                | 633'814                               | 265'316 | 234'774          | 8'498                 | 16'024                                  |  |
| Total Bassi      | n CIPEL    | 221              | 4'210'095                     | 95                 | 3'711'017                             | 88%                | 1'733'423                             | 707'929 | 659'440          | 13'181                | 29351                                   |  |

| Canton/          | Bassin<br>versant |                      | Flux de ph            | osphore total     | en kg Ptot/jour                     |   | Concentration | en Ptot (mg       | Ptot/L)                         | Rendement moyen<br>(pondéré par les débits)<br>en <u></u> % |                         |
|------------------|-------------------|----------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------------------|---|---------------|-------------------|---------------------------------|---|-------------------------|
| départe-<br>ment |                   | Entrée<br>flux total | Entrée flux<br>traité | Sortie<br>traitée | Déversé à<br>l'entrée <sup>1)</sup> | Déversé en<br>cours de<br>traitement 1) | Entrée        | Sortie<br>traitée | Sortie<br>traitée +<br>déversée | Eaux traitées   | Traitées +<br>déversées |
| Ain              |                   | 21                   | 21                    | 5                 | 0                                   | 0                                       | 2.81          | 0.61              | 0.61                            | 78%   | 78%                     |
| Genève           | 1                 | 10                   | 10                    | 2                 | 0                                   | 0                                       | 4.10          | 0.67              | 0.67                            | 84%   | 84%                     |
| Hte-Savoie       | Savoie Léman      | 202                  | 201                   | 36                | 0                                   | 0                                       | 6.98          | 1.25              | 1.26                            | 82%   | 82%                     |
| Valais           |                   | 800                  | 800                   | 85                | 0                                   | 1                                       | 4.45          | 0.47              | 0.48                            | 89%   | 89%                     |
| Vaud             |                   | 1'100                | 1'081                 | 109               | 19                                  | 45                                      | 4.91          | 0.53              | 0.77                            | 90%   | 84%                     |
| Total Lémai      | n                 | 2'132                | 2'113                 | 236               | 19                                  | 47                                      | 4.82          | 0.56              | 0.68                            | 89%   | 86%                     |
| Ain              |                   | 72                   | 72                    | 39                | 0                                   | 0                                       | 6.41          | 3.55              | 3.51                            | 45%   | 45%                     |
| Genève           | Rhône aval        | 1'048                | 1'024                 | 260               | 24                                  | 41                                      | 4.91          | 1.38              | 1.52                            | 75%   | 69%                     |
| Hte-Savoie       |                   | 274                  | 266                   | 108               | 8                                   | 12                                      | 6.79          | 3.08              | 3.14                            | 60%   | 54%                     |
| Total Rhône      | Total Rhône aval  |                      | 1'362                 | 407               | 32                                  | 53                                      | 5.25          | 1.73              | 1.85                            | 70%   | 65%                     |
| Total Bassi      | n CIPEL           | 3'526                | 3'475                 | 643               | 51                                  | 99                                      | 4.98          | 0.97              | 1.12                            | 82%   | 78%                     |

<sup>1)</sup> Les déversements sont sous-estimés étant donné que toutes les stations ne mesurent pas les débits déversés.

**ANNEXE 3 :** Contrôle et fonctionnement des STEP pour le phosphore dissous en 2003

**APPENDIX 3:** Testing and function of the WWTP for dissolved phosphorus in 2003

| Canton/            | Bassin     | Nombre<br>total de<br>STEP | Capacité<br>totale des<br>STEP (60 g<br>DBO₅/hab.j)                                   | Nombre de          | Capacité des<br>STEP contrôlées | STEP<br>contrôlées     | Population raccordée (perm.+          |         | Débit<br>m³/jour |                       |   |
|--------------------|------------|----------------------------|---|--------------------|---------------------------------|------------------------|---------------------------------------|---------|------------------|-----------------------|---|
| départe-<br>ment   | versant    |                            |   | STEP<br>contrôlées | (60 g DBO₅/<br>hab.j)           | en % de la<br>capacité | 2/3 sais.) sur les<br>STEP contrôlées | total   | traité           | déversé <sup>1)</sup> | déversé en<br>cours de<br>traitement 1) |
| Ain                |            | 3                          | 19'750  | 2                  | 19'300                          | 98%                    | 13'011                                | 7'404   | 7'404            | 0                     | 0                                       |
| Genève             |            | 2                          | 7'625   | 2                  | 7'625                           | 100%                   | 5'589                                 | 2'377   | 2'369            | 0                     | 0                                       |
| Hte-Savoie         | Léman      | 18                         | 199'596   | 1                  | 35'750                          | 18%                    | 10'393                                | 2'774   | 2'857            | 0                     | 0                                       |
| Valais             |            | 70                         | 1'422'507   | 1                  | 55'000                          | 4%                     | 23'813                                | 7'300   | 7'300            | 0                     | 0                                       |
| Vaud               |            | 74                         | 1'000'777   | 26                 | 914'502                         | 91%                    | 496'474                               | 221'377 | 205'239          | 4'612                 | 11'526                                  |
| Total Lémai        | n          | 167                        | 2'650'255   | 32                 | 1'032'177                       | 39%                    | 549'279                               | 241'231 | 225'167          | 4'612                 | 11'526                                  |
| Ain                |            | 9                          | 52'623  | 3                  | 46'060                          | 88%                    | 30'335                                | 10'922  | 10'723           | 199                   | 0                                       |
| Genève             | Rhône aval | 14                         | 1'103'407   | 5                  | 962'503                         | 87%                    | 452'935                               | 211'306 | 186'299          | 6'363                 | 12'295                                  |
| Hte-Savoie         |            |                            | Résultats non significatifs en raison du faible nombre de contrôles pour ce paramètre |                    |                                 |                        |                                       |         |                  |                       |   |
| Total Rhône        | e aval     | 54                         | 1559840   | 9                  | 1'093'563                       | 70%                    | 541'584                               | 236'646 | 211'835          | 6'562                 | 12'295                                  |
| Total Bassin CIPEL |            | 221                        | 4'210'095   | 41                 | 2'125'740                       | 50%                    | 1'090'863                             | 477'877 | 437'002          | 11'174                | 23'821                                  |

| Canton/<br>départe- | Bassin<br>versant     |                      | Flux en phos          | phore dissou      | s en kg P-PO₄/jour                  |   | Concentration 6        | -PO₄/L)           | Rendement moyen<br>(pondéré par les débits)<br>en % |                  |                      |
|---------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------------------|---|------------------------|-------------------|---|------------------|----------------------|
| ment                |                       | Entrée flux<br>total | Entrée flux<br>traité | Sortie<br>traitée | Déversé à<br>l'entrée <sup>1)</sup> | Déversé en<br>cours de<br>traitement 1) | Entrée                 | Sortie<br>traitée | Sortie<br>traitée +<br>déversée                     | Eaux<br>traitées | Traitées + déversées |
| Ain                 |                       | 11                   | 11                    | 3                 | 0                                   | 0                                       | 1.54                   | 0.44              | 0.44  | 72%              | 72%                  |
| Genève              |                       | 6                    | 6                     | 1                 | 0                                   | 0                                       | 2.35                   | 0.36              | 0.36  | 85%              | 85%                  |
| Hte-Savoie          | Léman                 | 11                   | 11                    | 0                 | 0                                   | 0                                       | 4.11                   | 0.15              | 0.15  | 96%              | 96%                  |
| Valais              |                       | 22                   | 22                    | 3                 | 0                                   | 0                                       | 3.03                   | 0.44              | 0.44  | 85%              | 85%                  |
| Vaud                |                       | 485                  | 477                   | 29                | 8                                   | 12                                      | 2.19                   | 0.14              | 0.23  | 92%              | 90%                  |
| Total Lémai         | n                     | 536                  | 528                   | 33                | 8                                   | 12                                      | 2.22                   | 0.15              | 0.23  | 92%              | 90%                  |
| Ain                 |                       | 37                   | 36                    | 33                | 0                                   | 0                                       | 3.35                   | 3.04              | 3.07  | 10%              | 10%                  |
| Genève              | Rhône aval            | 488                  | 478                   | 184               | 10                                  | 20                                      | 2.31                   | 0.99              | 1.14  | 57%              | 56%                  |
| Hte-Savoie          |                       |                      |                       | Résult            | ats non significatifs               | en raison du faib                       | le nombre de contrôles | pour ce para      | mètre   |                  | •                    |
| Total Rhône         | Total Rhône aval 2)   |                      | 570                   | 276               | 10                                  | 20                                      | 2.45                   | 1.30              | 1.44  | 48%              | 47%                  |
| Total Bassi         | Total Bassin CIPEL 2) |                      | 1'097                 | 310               | 18                                  | 31                                      | 2.33                   | 0.71              | 0.82  | 69%              | 68%                  |

<sup>1)</sup> Les déversements sont sous-estimés étant donné que toutes les stations ne mesurent pas les débits déversés.

<sup>&</sup>lt;sup>2)</sup> Sans les stations situées en Haute-Savoie dans le bassin du Rhône aval

ANNEXE 4: Bilans des apports en matière organique (DBO $_5$ ), phosphore total et phosphore dissous (P-PO $_4$ ) Assessment of the inputs of organic matter (DBO $_5$ ), total phosphorus and dissolved phosphorus (P-PO $_4$ )

|                        |                   | Flux de matière organique en t O₂/an |                      |                   |                        |            | Rendement   |  |
|------------------------|-------------------|--------------------------------------|----------------------|-------------------|------------------------|------------|---|--|
| Canton/<br>département | Bassin<br>versant | contrôlées<br>en % de la<br>capacité | Entrée flux<br>total | Sortie<br>traitée | Déversé (si<br>mesuré) | Abattement | moyen sur les<br>eaux traitées +<br>déversées (%) |  |
| Ain                    |                   | 98%                                  | 161.6                | 8.4               | 0.0                    | 153        | 95%   |  |
| Genève                 |                   | 100%                                 | 99.4                 | 5.9               | 0.0                    | 94         | 94%   |  |
| Haute-Savoie           | Léman             | 84%                                  | 2114.4               | 391.9             | 2.9                    | 1'720      | 81%   |  |
| Valais                 | 1                 | 95%                                  | 19690.9              | 555.3             | 12.5                   | 19'123     | 97%   |  |
| Vaud                   | 1                 | 92%                                  | 12179.5              | 1204.4            | 604.1                  | 10'371     | 85%   |  |
| Total Léman            | •                 | 93%                                  | 34245.7              | 2165.9            | 619.6                  | 31'460     | 92%   |  |
| Ain                    |                   | 88%                                  | 613.3                | 57.7              | 17.0                   | 539        | 88%   |  |
| Genève                 | Rhône<br>aval     | 99%                                  | 20417.7              | 937.4             | 1262.9                 | 18'217     | 89%   |  |
| Haute-Savoie           | avai              | 48%                                  | 2750.6               | 235.7             | 227.2                  | 2'288      | 83%   |  |
| Total Rhône ava        | al                | 85%                                  | 23781.6              | 1230.7            | 1507.2                 | 21'044     | 88%   |  |
| Total Bassin CIPEL     |                   | 90%                                  | 58027.3              | 3396.6            | 2126.7                 | 52'504     | 90%   |  |

|                        |                   | STEP                                 | Flu                  | an                | Rendement              |            |   |
|------------------------|-------------------|--------------------------------------|----------------------|-------------------|------------------------|------------|---|
| Canton/<br>département | Bassin<br>versant | contrôlées<br>en % de la<br>capacité | Entrée flux<br>total | Sortie<br>traitée | Déversé (si<br>mesuré) | Abattement | moyen sur les<br>eaux traitées +<br>déversées (%) |
| Ain                    |                   | 98%                                  | 7.6                  | 1.6               | 0.0                    | 6          | 78%   |
| Genève                 | 1                 | 100%                                 | 3.6                  | 0.6               | 0.0                    | 3          | 84%   |
| Haute-Savoie           | Léman             | 84%                                  | 73.6                 | 13.2              | 0.1                    | 60         | 82%   |
| Valais                 | 1                 | 95%                                  | 291.9                | 30.9              | 0.5                    | 261        | 89%   |
| Vaud                   | ]                 | 92%                                  | 401.6                | 39.9              | 23.4                   | 338        | 84%   |
| Total Léman            |                   | 93%                                  | 778.2                | 86.2              | 24.0                   | 668        | 86%   |
| Ain                    |                   | 88%                                  | 26.2                 | 14.3              | 0.1                    | 12         | 45%   |
| Genève                 | Rhône aval        | 92%                                  | 382.6                | 94.9              | 23.6                   | 264        | 69%   |
| Haute-Savoie           | 1                 | 45%                                  | 100.1                | 39.3              | 7.1                    | 54         | 54%   |
| Total Rhône a          | val               | 80%                                  | 508.9                | 148.5             | 30.8                   | 330        | 65%   |
| Total Bassin CIPEL     |                   | 88%                                  | 1287.1               | 234.6             | 54.9                   | 998        | 78%   |

|                        |                   | STEP      | Flux o               | lu phosphore      | dissous en t l         | P/an            | Rendement   |
|------------------------|-------------------|-----------|----------------------|-------------------|------------------------|-----------------|---|
| Canton/<br>département | Bassin<br>versant |           | Entrée flux<br>total | Sortie<br>traitée | Déversé (si<br>mesuré) | Abattement      | moyen sur les<br>eaux traitées +<br>déversées (%) |
| Ain                    |                   | 98%       | 4.2                  | 1.2               | 0.0                    | 3               | 72%   |
| Genève                 |                   | 100%      | 2.0                  | 0.3               | 0.0                    | 2               | 85%   |
| Haute-Savoie           | Léman             | 18%       | 4.2                  | 0.2               | 0.0                    | 4               | 96%   |
| Valais                 |                   | 4%        | 8.1                  | 1.2               | 0.0                    | 7               | 85%   |
| Vaud                   |                   | 91%       | 177.1                | 10.5              | 7.1                    | 160             | 90%   |
| Total Léman            |                   | 39%       | 195.5                | 12.1              | 7.1                    | 176             | 90%   |
| Ain                    |                   | 88%       | 13.3                 | 11.9              | 0.1                    | 1               | 10%   |
| Genève                 | Rhône aval        | 87%       | 178.0                | 67.2              | 10.7                   | 100             | 56%   |
| Haute-Savoie           |                   | Résultats | non significatifs    | en raison du f    | aible nombre de        | e contrôles pou | r ce paramètre                                    |
| Total Rhône aval 1)    |                   | 87%       | 191.4                | 79.1              | 10.8                   | 102             | 53%   |
| Total Bassin CIPEL 1)  |                   | 54%       | 386.9                | 91.2              | 17.8                   | 278             | 72%   |

<sup>&</sup>lt;sup>1)</sup> Sans les stations situées en Haute-Savoie dans le bassin du Rhône aval

## ENJEUX POUR LE LÉMAN DE LA RÉDUCTION À LA SOURCE DES APPORTS DE PHOSPHORE LIÉS AUX DÉTERGENTS À USAGE DOMESTIQUE

# THE CHALLENGES FACING LAKE GENEVA IN REDUCING AT SOURCE THE INPUT OF PHOSPHORUS LINKED TO DETERGENTS FOR DOMESTIC USE

PAR

#### **Aline CLERC**

SECRÉTARIAT DE LA COMMISSION INTERNATIONALE POUR LA PROTECTION DES EAUX DU LÉMAN CP 80, CH - 1000 LAUSANNE 12

#### **Claude LASCOMBE**

AGENCE DE L'EAU RHÔNE-MÉDITERRANÉE ET CORSE, 2-4, Allée de Lodz, FR - 69363 LYON Cedex 07

#### RÉSUMÉ

La CIPEL, consciente de la nécessité d'agir simultanément sur les apports de toutes origines et sous toutes leurs formes, s'efforce de promouvoir les actions à la source, couplées avec la dépollution des rejets.

Si avant épuration, une partie du phosphore rejeté, lié au métabolisme humain, n'est pas compressible, une part non négligeable liée aux détergents ménagers dépend directement de l'utilisation qui en est faite et de leur composition.

Le présent rapport fait suite à une étude de BATTELLE-Genève, réalisée en 2002 pour l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée et Corse sur la situation du marché des détergents en France et leurs teneurs en phosphates, et à un travail de séminaire de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL).

Une première partie traite du marché des détergents et de son évolution passée, différente pour les produits de lavage du linge et de la vaisselle. Quelques lessives textiles en France contiennent encore des phosphates, la plupart en étant aujourd'hui dépourvues. En Suisse, elles le sont toutes. Par contre, dans les deux pays, les produits pour lave-vaisselle sont pratiquement tous formulés avec des phosphates.

Une évaluation des rejets bruts de phosphore liés à ces détergents est faite pour le bassin versant du Léman, à partir des données actualisées des études précédentes. Elle confirme la nette prépondérance des apports par les produits pour lave-vaisselle (89 t au total, dont 17 t en France et 72 t en Suisse) par rapport aux produits pour textiles (19 t en France). Traduits en rejets nets en tenant compte des dispositifs d'assainissement, ce sont 33 t qui arrivent au lac, soit 11 % des apports totaux liés à l'activité humaine.

L'enjeu représenté par ce phosphore lié aux détergents est analysé au regard des objectifs de concentration visés pour le lac et des possibilités de réduction des autres apports. L'amélioration de la collecte et de l'épuration des eaux usées, mesures les plus efficaces mais aussi les plus lourdes et les plus coûteuses, ne traduiront pleinement leurs effets qu'à long terme. Par ailleurs, la poursuite prévisible de l'équipement des ménages en appareils lave-vaisselle laisse craindre, à composition de produits inchangée, une augmentation des rejets en phosphore, qui par le jeu des pertes et déversements divers sur les réseaux, se retrouvera pour partie au lac sans traitement.

La réduction à la source des émissions apparaît donc comme le complément indispensable aux actions de dépollution et doit donc faire l'objet des mêmes efforts de sensibilisation et d'incitation. L'information apportée par la CIPEL aux consommateurs sur les teneurs en phosphates des détergents commercialisés sur le bassin du Léman doit y contribuer.

#### **ABSTRACT**

The CIPEL is aware of the need to act simultaneously against inputs from all sources and in all forms, and is consequently attempting to promote actions at source, combined with depollution of the discharged phosphorus.

Some of the phosphorus waste, before waste water treatment, is linked to human metabolism and cannot therefore be reduced; however a far from negligible fraction, linked to household detergents, depends directly on the way they are used and their composition.

The present report follows on from a Battelle-Geneva study, carried out in 2002 on behalf of the Agence de l'eau Rhône-Méditerranée et Corse (Water Agency for Rhone-Mediterranean and Corsica) of the market situation of detergents in France and their phosphate contents, and from a Seminar study held at the Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.

The first section deals with the detergents market and how it has changed in the past; this is different for products used to wash textiles and those used to wash dishes. Some products used for textiles in France still contain phosphates, but nowadays most of them, as in Switzerland, do not. In contrast, in both countries, almost all the products used in dishwashers contain phosphates.

The gross input of phosphorus linked to these detergents is assessed for the basin of Lake Geneva, based on updates of the data used in previous studies. This confirms the clear preponderance of the input from dishwashing products (a total of 89 metric tonnes, 17 tonnes in France plus 72 tonnes in Switzerland) compared to that from textile washing products (19 tonnes in France). Translated into net input, allowing for the effects of processing facilities, 33 metric tonnes actually reach the Lake, i.e. 11% of the total input linked to human activity.

The challenge constituted by this phosphorus input linked to detergents is discussed in the light of the target concentration for the Lake and the possible ways of reducing other inputs. The improvement of the system for collecting waste water and of the waste water treatment, which are the most effective measures, but also the most onerous and expensive, will only produce their full effects in the long term. Furthermore, the foreseeable trend that households wil continue to equip themselves with dishwashers leads us to fear, assuming that the composition of the products remains unchanged, an increase in the discharge of phosphorus, some of which as a result of spillages and unintended discharges of various types in the system, will end up entering the Lake without being processed.

The reduction of emissions at source can therefore be seen to be the indispensable complement to depollution measures, and must therefore be accompanied by the same attempts to increase awareness and persuade people to act. The information given by the CIPEL to consumers about the phosphate contents of detergents marketed on the basin of Lake Geneva must contribute to this effort.

#### 1. INTRODUCTION

La CIPEL met l'accent depuis de nombreuses années sur la nécessité d'agir simultanément sur les apports de toutes origines et sous toutes leurs formes, pour atteindre les objectifs ambitieux de réduction des teneurs en phosphore qui assureront le contrôle de la production d'algues et des conditions optimales pour la vie aquatique, l'alimentation en eau potable et les activités de loisirs.

A cet effet, elle s'efforce de promouvoir les actions à la source, couplées avec la dépollution des rejets. Des progrès significatifs ont déjà été enregistrés dans le domaine agricole, qu'il convient de consolider, mais il est clair que c'est au niveau des apports domestiques, les plus pénalisants pour le lac, que la marge de progression possible est la plus importante.

Le traitement de déphosphatation en STEP a ses limites, liées notamment à la maîtrise de la collecte des eaux usées. Toute réduction des émissions à la sortie même des habitations, constitue donc une contribution à la réduction des apports au lac.

Si avant épuration, une partie du phosphore rejeté, lié au métabolisme humain, n'est pas compressible, une part non négligeable liée aux détergents ménagers dépend directement de l'utilisation qui en est faite et de leur composition. Quelques lessives textiles encore en France, et les produits pour machines lave-vaisselle dans les deux pays, contiennent des phosphates, en quantité variable, mais généralement très importante pour cette dernière catégorie de produits.

Le présent rapport fait suite à une étude de BATTELLE-Genève, réalisée en 2002 pour l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée et Corse sur la situation du marché des détergents en France et leurs teneurs en phosphates, et à un travail de séminaire de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. Il a pour objet l'évaluation quantitative des émissions en phosphore liées aux détergents, et leur devenir au travers de leurs différents cheminements, rejets directs, semi-directs via les pertes de réseaux, ou après épuration en STEP. Au final, une évaluation est faite des enjeux pour le lac par comparaison avec les autres apports en phosphore, au regard des objectifs de concentration en cet élément visés par le Plan d'Action.

#### 2. LE MARCHÉ DES DÉTERGENTS : ÉVOLUTION PASSÉE ET SITUATION ACTUELLE

Le phosphore, utilisé sous forme de tripolyphosphates (TPP) dans la formulation des détergents remplit différentes fonctions (anti-calcaire et anti-redéposition notamment). Sa substitution par d'autres produits pose des problèmes technologiques.

D'une façon générale, l'évolution des marchés et des compositions est influencée par la législation ou les accords volontaires passés avec la profession, par la demande des consommateurs de nouvelles présentations de produits, et par les choix technologiques et stratégiques des fabricants pour y répondre (HENKEL et PROCTER & GAMBLE ont par exemple assez tôt misé sur l'abandon des TPP dans les lessives pour textiles afin de présenter des formulations pan-européennes répondant à l'attente de nombreux pays).

Pour les lessives textiles et compte tenu de l'interdiction des TPP en Suisse depuis 1986, on ne mentionnera que la situation française. Le problème reste en revanche entier pour les produits lave-vaisselle, des deux côtés de la frontière.

#### 2.1 Evolution du marché des lessives textiles en France

Durant les vingt dernières années, le marché, initialement dominé par les poudres classiques avec TPP, a vu l'apparition dans les années 1990 des poudres concentrées avec en général les zéolithes (= argile) en substitution aux TPP. Les pastilles et capsules prédosées, introduites ces dernières années et formulées, pour la plus grande part aussi, sans phosphate, ont partiellement remplacé les poudres compactes. Les lessives liquides, dépourvues également pour la plupart de TPP, et ceci dès l'origine, ont eu tendance à progresser.

La consommation actuelle totale en France est d'un peu moins de 600'000 t, soit environ 10 kg/hab.an, encore dominée par les poudres classiques et les produits liquides (respectivement 44 et 35 % des parts de marché), les présentations prédosées se positionnant encore assez loin derrière (10 %).

L'incorporation de TPP (de l'ordre 180'000 t dans les années 1980) a progressivement chuté au fil de ces évolutions, avec un passage à environ 100'000 t dans les années 1990 et une poursuite de la baisse (conformément aux engagements pris par les producteurs par conventions passées en 1989 et 1990 avec le Ministère de l'Environnement) jusqu'aux 60'000 t actuelles, dépassant en cela avec une teneur moyenne en TPP de 6-7 % (communication orale de l'Association des savonniers - AFISE) l'objectif de 10 % fixé par convention. L'utilisation des zéolithes a, elle, augmenté dans le même temps de façon assez symétrique et fluctue depuis quelques années autour de 40'000 t. Les objectifs relatifs au NTA et à l'EDTA, autres produits potentiels de substitution, également visés par la convention, ont aussi été respectés, le premier immédiatement abandonné, et le second progressivement réduit jusqu'à sa disparition complète en 1996.

Cette tendance à la suppression des TPP s'est accélérée dernièrement avec son abandon par Lever dans les poudres et les liquides (mais pas dans les pastilles). Par ailleurs, la reprise annoncée récemment, des produits phare de COLGATE-PALMOLIVE en contenant encore, par PROCTER & GAMBLE, devrait se traduire par leur reformulation sans phosphate et renforcer cette évolution. On peut donc considérer la question des TPP dans les lessives textiles en France comme en majeure partie réglée dans un avenir proche.

Cependant, parallèlement à la diminution des TPP au cours des dix dernières années, et alors que l'utilisation de certains composants régressait (tensio-actifs amphotères, EDTA disparu depuis 96, polycarbonates et agents de blanchiment oxygénés dans les dernières années) ou se stabilisait (tensio-actifs anioniques et non ioniques) celle des formes cationiques a augmenté de façon importante. Cette évolution, non directement liée à celle des TPP, doit conduire à une certaine vigilance sur les modifications des compositions au regard de l'ensemble de leurs composants, et pas seulement des phosphates.

#### 2.2 Evolution du marché des produits lave-vaisselle en France et en Suisse

La consommation de détergents pour lave-vaisselle a crû au cours des deux dernières décennies, parallèlement au taux d'équipement des ménages, pour atteindre aujourd'hui :

- 40'000 t en France (taux d'équipement 45 % en 2003, mais vraisemblablement supérieur sur le bassin du Léman),
- 6'800 t en Suisse (taux d'équipement 58 % pour le bassin lémanique en 1998 (OFS, 2001)).

Le TPP y est incorporé, là encore, et souvent à fortes doses, pour ses propriétés anti-redéposition et anti-calcaire (y compris pour les machines équipées d'un système d'adoucissement d'eau en raison des apports de calcium dus aux restes de nourriture).

La substitution par les substances adoucissantes utilisées pour la lessive, comme les zéolithes associées à d'autres agents anti-redéposition, n'est pas possible car, non solubles dans l'eau, elles se déposent sur la vaisselle et ont un effet abrasif inacceptable.

Le substitut très généralement introduit est le citrate de sodium, mais son efficacité réduite pour les lave-vaisselle a conduit, après une période d'utilisation, au retour du TPP, principalement dans les poudres concentrées et les pastilles multi-usages (combinant les effets détergents + agent de rinçage + sel régénérant) qui nécessitent une grande solubilité.

Les concentrations varient, pour les produits de la grande distribution, de moins de 5 % (exceptionellement) à 46 %, avec une moyenne de l'ordre de 30 % de  $PO_4$  (Analyses CIPEL, 2004).

Une réglementation en Suisse, imposant une valeur limite de 2.5 g de phosphore par cycle de lavage, conduit toutefois à éviter les excès, par ajustement des concentrations trop élevées ou des recommandations de dosages pour le lavage. Des produits sans phosphate sont distribués dans les pharmacies, drogueries et les commerces spécialisés en Suisse et en France mais leur part de marché est très faible, estimée par exemple de l'ordre de 3 à 4 % en Suisse par le fabricant HELD (DOVAT, 2002). En France, le taux d'incorporation de phosphates dans les produits pour lave-vaisselle n'est pas réglementé. Enfin, un règlement européen du 31.03.2004 relatif aux détergents et axé sur la biodégradabilité des agents de surface, l'étiquetage et l'information, aborde succinctement la question des phosphates en annonçant pour le 8.04.2007 au plus tard, une évaluation par la Commission européenne et le cas échéant une proposition législative sur leur utilisation dans la perspective d'une interdiction progressive ou d'une limitation.

Globalement, cette situation se traduit par une consommation en TPP d'environ :

- 15'000 t en France (à comparer aux 60'000 t de TPP des lessives textiles),
- 2'400 t en Suisse, avec sa population plus de 8 fois inférieure.

Le lavage de la vaisselle à la main, pour les populations non équipées de lave-vaisselle, ne majore pas ces valeurs, les liquides vaisselle ne contenant pas de TPP.

#### 3. ÉVALUATION DES REJETS BRUTS DE PHOSPHORE LIÉS AUX DÉTERGENTS

Elle a été conduite sur des modes différents dans les deux pays, à partir d'un calcul détaillé par produit pour la France (BATELLE, 2003), et pour la Suisse selon une approche globale (DOVAT, 2002). Cette dernière, appliquée à la France et comparée avec l'évaluation fine, a permis d'en vérifier la cohérence au niveau des ordres de grandeur obtenus.

#### 3.1 Du côté français

Le calcul a été réalisé sur la base des analyses de produits, et données de consommation rapportées à une population estimée à 179'000 personnes, correction faite des saisonniers (122'000 permanents pondérés par un tiers des 169'000 saisonniers). Les données sur les ventes sont issues du suivi du marché par AC NIELSEN (organisme reconnu par la profession) pour la région IV Est de la France, corrigées en tenant compte de la consommation par habitant sur le bassin du Léman plus élevée que la moyenne régionale. Une actualisation a été faite, tenant compte de la suppression par LEVER des TPP depuis 2003 dans les poudres et liquides pour lavage textile.

Les rejets bruts ont ainsi été évalués, en TPP et en P (P = TPP/3.9)

- pour les rejets domestiques en sortie d'habitation à :
  - 142 t TPP/an (= 36 t P/an) ± 20 %, reparties en :

75 t TPP/an (= 19 t P/an) issues des lessives textiles

67 t TPP/an (= 17 t P/an) issues des produits lave-vaisselle

- ▶ pour les rejets industriels et institutionnels, et sur la base d'une estimation plus sommaire à :
  - 68 t TPP/an (= 17 t P/an) ± 50 %

soit après arrondi, un total de 210 t TPP/an (= 53 t P/an) ± 27 %.

Les intervalles de confiance mentionnés tiennent compte des incertitudes sur la représentativité des données (beaucoup plus forte pour les rejets industriels qui n'ont pas fait l'objet d'une approche spécifique).

#### 3.2 Du côté Suisse

L'évaluation, réalisée par un étudiant de l'EPFL, puis actualisée par le secrétariat de la CIPEL, a été conduite sur des bases moins précises à partir de la population du bassin versant, du taux d'équipement des ménages en lave-vaisselle (selon les données de l'Office fédéral de la statistique), de la fréquence moyenne de lavage (0.5 lavage /jour), et de la quantité moyenne de phosphore rejetée par cycle de lavage évaluée par analyse sur des échantillons (env. 2.1 g P par lavage), a conduit à une estimation des rejets en sortie des habitations de 72 tonnes de phosphore par an.

Cet ordre de grandeur est confirmé par la statistique de consommation des TPP en Suisse (communication de l'Association suisse des cosmétiques et des détergents) qui estime à 70 tonnes de phosphore les rejets en sortie d'habitation (évaluation réalisée à partir des données nationales appliquées au bassin versant du Léman, en proportion de sa population).

S'y ajoutent les rejets provenant des TPP incorporés dans les détergents à usage industriel et institutionnel, qui ont été évalués à 57 t P/an ± 50%, toujours à partir des données nationales fournies par l'Association suisse des cosmétiques et des détergents.

Les rejets bruts ont ainsi été évalués :

- pour les rejets domestiques en sortie d'habitation à :
  - 72 t P/an pour les seuls lave-vaisselle ± 20 %,
- ▶ pour les rejets industriels et institutionnels et sur la base d'une estimation plus sommaire à :
  - 57 t P/an ± 50 %

soit après arrondi, un total de 129 t P/an ± 33 %.

Le tableau 1 résume la situation pour les deux pays.

Tableau 1: Rejets en phosphore en sortie d'habitation ou d'entreprise dus au détergents

Table 1: Discharges of phosphorus from household and commercial sources attributable to detergents

| Rejets brut de phosphore en t/an |                                | France | Suisse | Total |
|----------------------------------|--------------------------------|--------|--------|-------|
| Domestique                       | ;                              | 36     | 72     | 108   |
| dont :                           | - lave-vaisselle               | (17)   | (72)   | (89)  |
|                                  | - textiles                     | (19)   | (0)    | (19)  |
| Détergents                       | industriels et institutionnels | 17     | 57     | 74    |
| Total                            |                                | 53     | 129    | 182   |

Remarque (commune aux deux pays): Les phosphonates, utilisés sous différentes formes comme agents chélatants dans les lessives textiles, contiennent en moyenne 20 % de phosphore élémentaire, mais pour des tonnages très inférieurs à ceux des TPP. On les retrouve également dans les pastilles pour lave-vaisselle, mais à des taux de 0.1 à 0.5 % seulement. Au total, ils ne représentent qu'environ 1/100<sup>e</sup> des tonnages en TPP et ne sont pas pris en compte dans la présente analyse.

#### 4. ÉVALUATION DES REJETS NETS AU LAC DUS AUX DÉTERGENTS À USAGE DOMESTIQUE

La quantité brute de phosphore liée aux détergents rejetés en sortie des habitations et des établissements industriels et institutionnels avant traitement, sur le bassin du Léman est, en tenant compte des intervalles de confiance mentionnés précédemment (cf. §3) comprise entre 125 et 240 t P/an sur l'ensemble du bassin versant français et suisse du Léman, dont 87 à 130 t pour la part strictement domestique connue avec une assez bonne précision. Nous retiendrons la valeur intermédiaire de 108 t, répartie entre 72 t pour la Suisse et 36 t pour la France.

En tenant compte des performances des systèmes d'assainissement en France et en Suisse, des rejets dus aux habitants non raccordés (relevant ou non de l'assainissement individuel) et en considérant le phosphore comme globalement conservatif entre les points de rejets et le lac, il a été calculé un apport net au Léman d'environ 33 t P/an (± 20 %).

Tableau 2 : Apports en phosphore au lac dus aux détergents domestiques (la moyenne des performances des systèmes d'assainissement en 2000, 2001 et 2002 a été utilisée pour le calcul de ces apports) (CLERC, 2001, 2003; CLERC et FIAUX, 2002)

Table 2: Addition of phosphorus to the Lake attributable to household detergents (the mean performance of the water processing systems for 2000, 2001 and 2002 was used in calculating these inputs) (CLERC, 2001, 2003; CLERC and FIAUX, 2002)

| Apports au lac<br>(en tonnes de<br>phosphore par an)                    | Suisse<br>(t P/an) | Population<br>concernée<br>(population<br>permanente +<br>1/3 population<br>saisonnière) | France<br>(t P/an) | Population<br>concernée<br>(population<br>permanente +<br>1/3 population<br>saisonnière) | Total<br>(t P/an) | Population<br>concernée<br>(population<br>permanente +<br>1/3 population<br>saisonnière) |
|---|--------------------|--|--------------------|--|-------------------|--|
| Habitants non raccordés (rendement de 20 %)                             | 1.9                | 32'060   | 5.1                | 32'073   | 7.0               | 64'133   |
| Pertes des réseaux<br>d'assainissement<br>(6 % de perte)                | 4.2                |  | 1.8                |  | 6.0               |  |
| Déversements en entrée de STEP (6 % de perte)                           | 4.1                | 942'517  | 1.7                | 146'794  | 5.9               | 1'089'311  |
| Rejets en sortie STEP<br>(rendement moyen des<br>STEP entre 79 et 86 %) | 8.4                |  | 5.5                |  | 13.9              |  |
| Total   | 18.7               | 974'577  | 14.1               | 178'867  | 32.8              | 1'153'443  |

#### 5. COMPARAISON AVEC LES AUTRES APPORTS ET ENJEUX POUR LE LAC

Les valeurs précédentes sont à mettre en comparaison avec les apports totaux en phosphore, et plus particulièrement domestiques et industriels essentiellement constitués de phosphore biodisponible immédiatement assimilable par les organismes (Tableau de bord CIPEL, octobre 2003).

Tableau 3 : Comparaison avec les autres apports et enjeux pour le lac

Table 3: Comparison with other inputs and the consequences for the lake

|             | Sources  | Apports nets<br>totaux en<br>phosphore<br>biodisponible | Dont apports<br>dus aux<br>détergents<br>domestiques | Pourcentage<br>des apports |
|-------------|--|---|--|----------------------------|
| Rejets dome | Rejets domestiques et industriels                    |   | 33   | 12 %                       |
| dont :      | - non raccordé                                       | (47)  | (7)  | (15 %)                     |
|             | - pertes réseaux                                     | (52)  | (6)  | (11 %)                     |
|             | - déversé  | (70)  | (6)  | (8 %)                      |
|             | - sortie de STEP                                     | (94)  | (14)   | (15 %)                     |
| Autres appo | Autres apports (naturels, agricoles, précipitations) |   | -  | -                          |
| Total       |  | 432   | 33   | 8 %                        |

Les détergents domestiques apportent au Léman environ 11% du phosphore résultant de l'activité humaine (activités domestique, industrielle et agricole), ce qui représente une part équivalente aux apports agricoles diffus. Si les 33 t/an d'apports liés aux détergents ménagers paraissent faibles, a priori, par rapport aux 432 tonnes d'apports totaux, et même aux 263 tonnes d'origine domestique et industrielle, il convient d'en apprécier l'importance au regard des possibilités réalistes de réduction et des objectifs visés.

Que représente maintenant au regard du lac, le gain possible de 33 t P/an lié aux détergents ménagers ? Il est clair que la plus grande partie de ce qui était nécessaire et faisable à court et moyen terme, dans des conditions socio-économiques acceptables, a été fait : raccordements des habitations, STEP, mesures agro-environnementales. Les objectifs de réduction des apports en phosphore ne sont toutefois pas atteints et si des efforts sont encore nécessaires, le plus difficile est à venir. Le gisement le plus important de progrès réside, comme indiqué ci-avant, dans la réfection des réseaux collecteurs d'eaux usées, qui ont aujourd'hui une grosse part de responsabilité. C'est aussi de très loin le poste le plus coûteux, qui ne peut être géré que sur le long terme. Or c'est précisément au niveau de ces rejets directs non traités, qui transmettent intégralement au milieu le phosphore issu des habitations, que l'utilisation de détergents sans TPP serait la plus efficace.

Si l'on intègre à ces perspectives le fait que ce gain portera en totalité sur la fraction de phosphore biodisponible, la plus gênante car directement assimilable par les algues, il ressort clairement de cette seconde analyse que l'enjeu pour le lac d'une réduction, voire d'une suppression des apports de phosphore issus de détergents ménagers domestiques, est loin d'être négligeable.

De plus, les progrès enregistrés du côté français sur les produits de lavage pour textiles ne peuvent gommer les inquiétudes, partagées en Suisse et en France, découlant des considérations précédentes relatives aux lave-vaisselle, qui représentent aujourd'hui 82 % des apports en phosphore liés aux détergents domestiques. Avec un parc d'équipement encore très loin de la saturation et à composition de produits et habitudes d'achat inchangés, on doit craindre une augmentation importante de ces apports dans les prochaines années.

#### 6. CONCLUSIONS

La nécessité pour lutter contre l'eutrophisation, de s'intéresser à toutes les sources de phosphore, notamment agricoles et domestiques, et pour ces derniers, de combiner à la déphosphation des eaux usées la réduction à la source des émissions de phosphore par utilisation de détergents sans phosphates n'est plus à démontrer. Le rapport du WRC (Water Research Center) de juin 2002 établi à la demande de la Direction de l'Environnement de l'Union Européenne en apporte encore la confirmation.

Ceci est particulièrement vrai pour le Léman où, de toute évidence, l'objectif ambitieux de réhabilitation nécessite la conjugaison de tous les moyens disponibles de réduction des apports en phosphore. En Europe également, de nombreuses autres zones désignées comme "sensibles à l'eutrophisation " au titre de la directive sur les eaux résiduaires urbaines de 1991, profiteraient de la diminution des apports en phosphore liés aux détergents.

L'enjeu pour le Léman des apports de phosphore dus aux détergents ménagers, loin d'être négligeable au regard des objectifs visés et des possibilités de réduction des autres apports, mérite en effet de porter à ce type d'action à la source, le même intérêt qu'aux actions de dépollution proprement dites.

Dans le contexte réglementaire actuel, une évolution dans l'utilisation des produits détergents n'est possible que par sensibilisation, puis adhésion des consommateurs.

Ces derniers disposent d'informations, issues d'essais comparatifs, sur les performances de lavage des divers produits, notamment pour la vaisselle. A efficacité voisine, ils peuvent se retourner vers ceux à plus faible teneur en phosphates, et faire ainsi émerger une demande nouvelle, que la distribution pourrait accompagner et consolider.

Une telle évolution, forcément progressive, suppose, pour se développer, puis se fixer dans la durée, la participation la plus large possible des acteurs socio-économiques. Elle doit donc, autant que faire se peut, être préparée et conduite avec les fabricants et distributeurs, avec pour objectif de réhabiliter le critère écologique comme argument promotionnel de vente. Il semble en effet que le marché ne soit pas indifférent au concept de "développement durable" et tende à l'utiliser en adoptant une nouvelle "posture citoyenne". Une opportunité se présente là "d'accrocher" la problématique des TPP à cette évolution générale.

La mise à disposition depuis le 15 juin 2004 par la CIPEL sur son site Internet, d'une information sur les teneurs en phosphates des différents produits distribués sur les bassins français et suisse du Léman, constitue une première étape de sensibilisation du consommateur, qui soutenue au niveau des autorités nationales et pourquoi pas étendue à d'autres bassins, doit accélérer cette prise de conscience.

#### **BIBLIOGRAPHIE**

- DOVAT, J. (2002): Enquête sur l'offre et l'utilisation des produits lave-vaisselle sans phosphore (phosphates) sur le bassin versant suisse du Léman dans l'optique d'une réduction à la source. Projet interdisciplinaire, Etude séminaire EPFL, document interne, juin 2002, 27 p.
- BATELLE (2003) : Offre et utilisation des produits de lavage sans phosphore en France dans le bassin français du Léman (Situation 2002). Ed. Agence de l'eau Rhône-Méditerranée et Corse, mars 2003, 48 p.
- Analyses CIPEL des produits lave-vaisselle et lessives textiles disponibles sur le marché en février-mai 2004, publiées sur le site Internet de la CIPEL dés le 15 juin 2004 (http://www.cipel.org).
- Tableau de bord CIPEL, version octobre 2003, sur le site Internet de la CIPEL (http://www.cipel.org/classic/tb/garde.htm).
- CLERC, A. (2001) : Contrôle des stations d'épuration. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2000, 209-230.
- CLERC, A. et FIAUX, J.-J. (2002) : Contrôle des stations d'épuration. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2001, 131-153.
- CLERC, A. (2003): Contrôle des stations d'épuration (STEP). Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2002, 141-159.
- OFS (2001): Enquête sur les revenus et la consommation. Equipement des ménages suisses en biens durables. Résultats de 1998, analyses et commentaires. Office fédéral de la statistique, Neuchâtel, ISBN 3-303-04055-9, 152 p.
- WRC (Water Research Center) (2002): Phosphates and alternative detergents builders. EU Environment directorate, juin 2002.

## ANALYSES COMPARATIVES INTERLABORATOIRES

## **COMPARATIVE INTERLABORATORY ANALYSES**

## Campagne 2003

PAR

#### **Andrés STRAWCZYNSKI**

SERVICE DES EAUX, SOLS ET ASSAINISSEMENT DU CANTON DE VAUD Ch. des Boveresses 155, CH - 1066 EPALINGES

## RÉSUMÉ

Au cours de l'année 2003, les laboratoires membres du groupe de travail "Méthodologie" de la CIPEL ont pu participer à 7 essais interlaboratoires concernant des analyses d'éléments nutritifs majeurs (cycles de l'azote et du phosphore, matière organique, ions majeurs), de produits phytosanitaires (pesticides) sur des matrices allant d'échantillons synthétiques à des eaux naturelles, en passant par des eaux minérales.

Le traitement statistique montre que l'ensemble des essais peut être considéré comme bon à très bon. Le nombre de résultats aberrants (tests de Cochran/Dixon) est faible, et la dispersion est bonne. Mis à part un ou deux cas particuliers, les écarts types sont du même ordre de grandeur que ceux observés les années antérieures, correspondant à une dispersion "typique" de ces essais (préparation des échantillons, techniques analytiques utilisées, etc...).

#### **ABSTRACT**

During 2003, the laboratories belonging to the "Methodology" working group of the CIPEL took part in 7 interlaboratory surveys. Analyses of the main nutrient elements (nitrogen and phosphorus cycles, organic matter, main ions), of crop treatment-related substances (pesticides) were performed using panels ranging from synthetic samples to natural waters, and including mineral waters.

The statistical analysis shows that all the data can be classified as good to very good. The number of outlier values (Cochran/Dixon tests) was small, and the variability was good. The standard deviations, apart from one or two obtained under particular circumstances, were as good as in former years and corresponded to "typical" dispersion values for these surveys (sample preparation, analytical methods used, etc...).

#### 1. INTRODUCTION

Les données présentées correspondent aux essais interlaboratoires dont les résultats ont été discutés en 2003. Une appréciation sommaire figure dans les procès-verbaux du groupe de travail "Méthodologie" de la CIPEL de cette année.

Les analyses interlaboratoires organisées dans le cadre du groupe "Méthodologie" ou auxquelles les membres du groupe ont pu participer au cours de l'année 2003 sont données dans le Tableau 1.

Ont participé à ces essais :

- des laboratoires de protection des eaux suisses et français (tous les cantons romands, INRA-Thonon, Bâle-Ville, Berne, Urkantone, Argovie, Thurgovie)
- des laboratoires cantonaux (Genève, Neuchâtel)
- des laboratoires communaux de distributeurs d'eau et services industriels (Genève, Lausanne, Neuchâtel, La Chaux-de-Fonds, Bâle, Berne)
- des laboratoires fédéraux suisses (universitaires et de recherche : EPFL, EAWAG)
- des laboratoires privés suisses et français.

Tableau 1: Liste des analyses interlaboratoires organisées en 2003

Table 1: List of the interlaboratory surveys organized in 2003

| Date       | Matrice                      | Paramètres                             | Participants | Remarques  |
|------------|------------------------------|--|--------------|--|
| 11.03.2003 | lac + rivière                | éléments<br>majeurs                    | 19           | Préparé par J. LAZZAROTTO, INRA<br>Thonon [1]        |
| 11.03.2003 | synthétique "basses valeurs" | COT, PO <sub>4</sub> , NH <sub>4</sub> | 10           | Préparé par A. STRAWCZYNSKi,<br>SESA Vaud            |
| 11.03.2003 | eau minérale dopée           | pesticides                             | 13           | Préparé par J. ONDRUS, SPE<br>Neuchâtel [2]          |
| 11.03.2003 | eau synthétique type<br>STEP | éléments<br>majeurs                    | 8            | Organisé et traité par B. DUPERRON,<br>LSEH-Lyon [3] |
| 10.09.2003 | lac + rivière                | éléments<br>majeurs                    | 20           | Préparé par A. STRAWCZYNSKI,<br>SESA Vaud            |
| 10.09.2003 | synthétique "basses valeurs" | COT, PO <sub>4</sub> , NH <sub>4</sub> | 15           | Préparé par A. STRAWCZYNSKI,<br>SESA Vaud            |

De plus, une dizaine de laboratoires ont participé à un essai qualitatif (micropolluants) sur un échantillon d'eau du Léman (baie de Vidy).

Des tests statistiques ont été utilisés afin de détecter les résultats aberrants. Il s'agit du test de DIXON (TAYLOR, 1987) et de Cochran, que la norme ISO 5725 (ISO, 1986) préconise. Ce dernier test, basé sur les variances intralaboratoires, ne peut être utilisé que si les laboratoires reportent les résultats de plusieurs réplicats.

En principe, les valeurs fournies par les laboratoires correspondent aux réplicats utilisés pour le calcul du résultat final.

Dans les tableaux qui suivent, le nombre de laboratoires "statistiques" ne tient pas compte des résultats tels que "inférieur à" ou "non détecté", et représente le nombre de laboratoires dont le résultat est retenu pour les statistiques (après exclusion des aberrants). Les colonnes "Dixon" et "Cochran" représentent le nombre de laboratoires considérés comme aberrants par ces tests (seuil 95 %). Les résultats présentés sont ceux après élimination des aberrants. Les résultats sont donnés avec le même nombre de décimales que lors des essais interlaboratoires.

## 2. ÉLÉMENTS MAJEURS DANS DES EAUX DE TYPE LAC ET RIVIÈRE

#### 2.1 Résultats

Lors de chaque calibration, 2 échantillons d'eaux naturelles sont analysés, l'un provenant d'un lac et l'autre d'une rivière.

Les tableaux 2a et 2b présentent les résultats des 4 échantillons analysés pendant l'année 2003.

#### Carbone organique:

- l'écart type se situe autour de 0.4 mg C/L pour le carbone organique dissous, et varie entre 0.1 et 1.1 mg C/L pour le total. Cette dernière valeur correspond au niveau le plus élevé (3.3 mg C/L) et est due certainement à la difficulté analytique d'obtenir des prises homogènes avec des échantillons chargés en matières en suspension.

## Oxydabilité:

 ce paramètre est souvent utilisé pour caractériser la charge organique dans les eaux de distribution (eau de boisson). On remarque que la dispersion des résultats (de 30 à 60 %) est très sensiblement supérieure à celle de la mesure du carbone organique.

#### Ammonium:

mis à part un essai où il atteint 32 μg N/L, l'écart type se situe autour de 8 μg N/L.

#### Nitrite:

 l'écart type se situe entre 0.5 et 0.8 μg N/L pour les essais de niveau 1.3 et 3.6 μg N/L, et de 3 à 5 μg N/L pour les niveaux plus élevés (10 et 29 μg N/L).

#### Nitrate:

l'écart type varie de 0.04 mg N/L pour les échantillons de lac (niveau proche de 0.6 mg N/L) à 0.09 mg N/L pour les rivières (niveau autour de 2.5 mg N/L).

#### Azote total:

comme pour le nitrate qui constitue la forme d'azote majoritaire, l'écart type de l'azote total va de 0.07
 1 mg N/L à 0.02 - 0.03 mg N/L selon le niveau de l'essai.

#### Orthophosphate:

 l'écart type se situe entre 1 et 3 μg P/L pour les niveaux 4 et 20 μg P/L et monte à 8 et 12 μg P/L pour les essais à 75 et 109 μg P/L.

#### Phosphore total:

comportement similaire à l'orthophosphate, les écarts types sont de 6 - 7 μg P/L (basses valeurs) et 13
 24 μg P/L (niveaux à environ 120 μg P/L).

#### 2.2 Conclusions

Les résultats de ces essais peuvent être considérés comme bons, compte tenu également du fait qu'un certain nombre de laboratoires participent à ceux-ci en tant que "challenge" car ils n'effectuent pas ce type d'analyses en routine ou à de telles concentrations.

La dispersion des résultats semble correcte, avec toujours une variabilité plus forte pour l'ammonium. Les conditions de transport et stockage entre le moment de la distribution et l'analyse peuvent peut-être expliquer cette dispersion des résultats.

#### 3. ÉCHANTILLONS SYNTHÉTIQUES "BASSES VALEURS"

Le tableau 2 présente les résultats des 2 essais entrepris en 2003. On constate que les résultats sont très bons. Pour l'orthophosphate et l'ammonium, les valeurs cibles sont bien retrouvées, et la dispersion est très bonne (2 à 4  $\mu$ g/L). Pour le carbone organique, un seul résultat sur deux peut être qualifié de bon, autant du point de vue de la valeur cible que de la dispersion des résultats.

#### 4. PHYTOSANITAIRES ET MICROPOLLUANTS

Un premier essai "classique" reprend le système mis en place antérieurement et a consisté en deux échantillons dopés, l'un d'eau minérale (Evian) et l'autre d'une eau de distribution.

Le tableau 3 présente les résultats détaillés, qui sont bons voire très bons.

Notons avec satisfaction enfin que par rapport à 2002, la participation à ce type d'essais a augmenté, notamment du fait de la participation de laboratoires suisses alémaniques.

#### 5. ÉCHANTILLON SYNTHÉTIQUE TYPE "STEP"

Bernard DUPERRON [4] a organisé et traité cette calibration à laquelle ont participé 46 laboratoires, dont 8 font partie du groupe de travail "Méthodologie" de la CIPEL (membres ou invités). Les échantillons sont synthétiques et dopés avec les diverses substances. Un résumé des résultats est présenté au tableau 4.

Les résultas pour les participants CIPEL sont bons hormis une valeur aberrante pour le phosphore total (vraisemblablement reporté la valeur DBO₅ au lieu de Ptot, résultat pas pris en compte) et une valeur trop basse pour le NTK (32 mg N/L pour une moyenne à 45 mg N/L).

#### 6. CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Les résultats des essais 2003 peuvent être qualifiés de bons à très bons pour les paramètres dont les analyses sont les plus usuelles (éléments majeurs type STEP, lacs et rivières, phytosanitaires). La tendance à atteindre des "paliers" en terme de variabilité des résultats (écart type) semble se confirmer, sauf cas particuliers sur quelques paramètres isolés.

Les craintes émises dans le précédent rapport concernant la participation aux essais "phytosanitaires" ne se sont pas vérifiées, l'augmentation du nombre de laboratoires constatée cette année permet une étude plus significative du point de vue statistique.

Tableau 2a : Eléments majeurs dans les échantillons d'eaux de lac et rivière

Table 2a: Main elements in the lake and river water samples

| Date       | Paramètre – matrice             | U                      | N  | D | С | ⋝      | σ      |
|------------|---------------------------------|------------------------|----|---|---|--------|--------|
| 11.03.2003 | Carbone organique dissous - RIV | mg C/L                 | 13 | 0 | 0 | 1.72   | 0.51   |
| 10.09.2003 | Carbone organique dissous - RIV | mg C/L                 | 16 | 1 | 0 | 2.59   | 0.39   |
| 11.03.2003 | Carbone organique total - LAC   | mg C/L                 | 15 | 1 | 0 | 0.98   | 0.11   |
| 10.09.2003 | Carbone organique total - LAC   | mg C/L                 | 16 | 0 | 0 | 1.03   | 0.27   |
| 11.03.2003 | Carbone organique total - RIV   | mg C/L                 | 13 | 2 | 0 | 1.90   | 0.19   |
| 10.09.2003 | Carbone organique total - RIV   | mg C/L                 | 15 | 0 | 0 | 3.30   | 1.08   |
| 11.03.2003 | Oxydabilité - LAC               | mg/L                   | 6  | 0 | 0 | 2.42   | 0.76   |
| 10.09.2003 | Oxydabilité - LAC               | mg/L                   | 6  | 0 | 0 | 3.49   | 2.18   |
| 11.03.2003 | Oxydabilité - RIV               | mg/L                   | 7  | 0 | 0 | 4.21   | 2.50   |
| 10.09.2003 | Oxydabilité - RIV               | mg/L                   | 8  | 0 | 0 | 9.58   | 5.23   |
| 11.03.2003 | Ammonium - LAC                  | mg N/L                 | 10 | 0 | 0 | 0.012  | 0.008  |
| 10.09.2003 | Ammonium - LAC                  | mg N/L                 | 14 | 1 | 2 | 0.049  | 0.008  |
| 11.03.2003 | Ammonium - RIV                  | mg N/L                 | 12 | 0 | 0 | 0.027  | 0.032  |
| 10.09.2003 | Ammonium - RIV                  | mg N/L                 | 15 | 1 | 1 | 0.050  | 0.009  |
| 11.03.2003 | Nitrite - LAC                   | mg N/L                 | 7  | 0 | 0 | 0.0013 | 0.0005 |
| 10.09.2003 | Nitrite - LAC                   | mg N/L                 | 13 | 1 | 0 | 0.0036 | 0.0008 |
| 11.03.2003 | Nitrite - RIV                   | mg N/L                 | 17 | 0 | 0 | 0.0104 | 0.0036 |
| 10.09.2003 | Nitrite - RIV                   | mg N/L                 | 17 | 1 | 0 | 0.0290 | 0.0049 |
| 11.03.2003 | Nitrate - LAC                   | mg N/L                 | 19 | 0 | 0 | 0.557  | 0.047  |
| 10.09.2003 | Nitrate - LAC                   | mg N/L                 | 19 | 0 | 0 | 0.600  | 0.035  |
| 11.03.2003 | Nitrate - RIV                   | mg N/L                 | 18 | 0 | 0 | 2.537  | 0.079  |
| 10.09.2003 | Nitrate - RIV                   | mg N/L                 | 19 | 1 | 0 | 2.475  | 0.085  |
| 11.03.2003 | Azote total - LAC               | mg N/L                 | 9  | 0 | 0 | 0.68   | 0.07   |
| 10.09.2003 | Azote total - LAC               | mg N/L                 | 11 | 1 | 0 | 0.82   | 0.11   |
| 11.03.2003 | Azote total - RIV               | mg N/L                 | 10 | 0 | 0 | 2.80   | 0.20   |
| 10.09.2003 | Azote total - RIV               | mg N/L                 | 13 | 0 | 0 | 3.03   | 0.30   |
| 11.03.2003 | Orthophosphate - LAC            | mg P/L                 | 15 | 1 | 0 | 0.020  | 0.003  |
| 10.09.2003 | Orthophosphate - LAC            | mg P/L                 | 11 | 0 | 1 | 0.004  | 0.001  |
| 11.03.2003 | Orthophosphate - RIV            | mg P/L                 | 17 | 1 | 0 | 0.109  | 0.012  |
| 10.09.2003 | Orthophosphate - RIV            | mg P/L                 | 19 | 0 | 0 | 0.075  | 0.008  |
| 11.03.2003 | Phosphore total - LAC           | mg P/L                 | 13 | 1 | 0 | 0.030  | 0.006  |
| 10.09.2003 | Phosphore total - LAC           | mg P/L                 | 12 | 0 | 0 | 0.018  | 0.007  |
| 11.03.2003 | Phosphore total - RIV           | mg P/L                 | 16 | 0 | 0 | 0.136  | 0.024  |
| 10.09.2003 | Phosphore total - RIV           | mg P/L                 | 17 | 0 | 0 | 0.110  | 0.013  |
| 11.03.2003 | Silice - LAC                    | mg SiO <sub>2</sub> /L | 13 | 0 | 0 | 1.56   | 0.10   |
| 10.09.2003 | Silice - LAC                    | mg SiO <sub>2</sub> /L | 13 | 0 | 0 | 1.39   | 0.20   |
| 11.03.2003 | Silice - RIV                    | mg SiO <sub>2</sub> /L | 13 | 0 | 0 | 4.46   | 0.24   |
| 10.09.2003 | Silice - RIV                    | mg SiO <sub>2</sub> /L | 14 | 0 | 0 | 3.94   | 0.35   |

| U | Unités                           |
|---|----------------------------------|
| N | Nombre de résultats statistiques |
| D | Nombre d'aberrants selon Dixon   |
| С | Nombre d'aberrants selon Cochran |
| X | Moyenne arithmétique             |
| σ | Ecart type                       |

RIV = échantillon d'eau de rivière

LAC = échantillon d'eau de lac

Tableau 2b : Eléments majeurs dans les échantillons d'eaux de lac et rivière

Table 2b: Main elements in the lake + river water samples

| Date       | Paramètre – matrice        | U          | N  | D | С | ⊼      | σ    |
|------------|----------------------------|------------|----|---|---|--------|------|
| 11.03.2003 | Conductivité - LAC         | μS/cm 25°C | 18 | 0 | 0 | 303    | 6    |
| 10.09.2003 | Conductivité - LAC         | μS/cm 25°C | 17 | 0 | 0 | 294    | 5    |
| 11.03.2003 | Conductivité - RIV         | μS/cm 25°C | 18 | 0 | 0 | 668    | 16   |
| 10.09.2003 | Conductivité - RIV         | μS/cm 25°C | 18 | 0 | 0 | 423    | 6    |
| 11.03.2003 | Sodium - LAC               | mg/L       | 16 | 0 | 0 | 5.85   | 0.58 |
| 10.09.2003 | Sodium - LAC               | mg/L       | 15 | 2 | 0 | 5.72   | 0.39 |
| 11.03.2003 | Sodium - RIV               | mg/L       | 16 | 0 | 0 | 9.99   | 0.77 |
| 10.09.2003 | Sodium - RIV               | mg/L       | 16 | 1 | 0 | 11.79  | 0.82 |
| 11.03.2003 | Potassium - LAC            | mg/L       | 15 | 0 | 0 | 1.48   | 0.13 |
| 10.09.2003 | Potassium - LAC            | mg/L       | 17 | 0 | 0 | 1.47   | 0.21 |
| 11.03.2003 | Potassium - RIV            | mg/L       | 14 | 1 | 0 | 2.5    | 0.17 |
| 10.09.2003 | Potassium - RIV            | mg/L       | 16 | 1 | 0 | 3.65   | 0.29 |
| 11.03.2003 | Calcium - LAC              | mg/L       | 14 | 2 | 0 | 45.37  | 1.73 |
| 10.09.2003 | Calcium - LAC              | mg/L       | 17 | 0 | 0 | 44.34  | 3.25 |
| 11.03.2003 | Calcium - RIV              | mg/L       | 14 | 2 | 0 | 117.24 | 5.85 |
| 10.09.2003 | Calcium - RIV              | mg/L       | 18 | 0 | 0 | 67.16  | 4.31 |
| 11.03.2003 | Magnésium - LAC            | mg/L       | 15 | 1 | 0 | 6.07   | 0.28 |
| 10.09.2003 | Magnésium - LAC            | mg/L       | 17 | 0 | 0 | 5.74   | 0.29 |
| 11.03.2003 | Magnésium - RIV            | mg/L       | 15 | 1 | 0 | 15.61  | 1.03 |
| 10.09.2003 | Magnésium - RIV            | mg/L       | 18 | 0 | 0 | 6.56   | 0.41 |
| 11.03.2003 | Dureté totale - LAC        | méq/L      | 8  | 1 | 0 | 2.80   | 0.07 |
| 10.09.2003 | Dureté totale - RIV        | méq/L      | 8  | 1 | 0 | 7.12   | 0.11 |
| 11.03.2003 | Dureté totale - LAC        | méq/L      | 10 | 0 | 0 | 2.69   | 0.03 |
| 10.09.2003 | Dureté totale - RIV        | méq/L      | 11 | 0 | 0 | 3.89   | 0.07 |
| 11.03.2003 | Titre alcalimétrique - LAC | méq/L      | 14 | 0 | 0 | 1.83   | 0.04 |
| 10.09.2003 | Titre alcalimétrique - LAC | méq/L      | 15 | 0 | 0 | 1.76   | 0.03 |
| 11.03.2003 | Titre alcalimétrique - RIV | méq/L      | 14 | 0 | 0 | 5.54   | 0.07 |
| 10.09.2003 | Titre alcalimétrique - RIV | méq/L      | 15 | 1 | 0 | 3.42   | 0.04 |
| 11.03.2003 | Chlorure - LAC             | mg/L       | 19 | 0 | 0 | 7.87   | 0.5  |
| 10.09.2003 | Chlorure - LAC             | mg/L       | 17 | 1 | 0 | 7.92   | 0.42 |
| 11.03.2003 | Chlorure - RIV             | mg/L       | 18 | 1 | 0 | 16.12  | 0.95 |
| 10.09.2003 | Chlorure - RIV             | mg/L       | 18 | 1 | 0 | 17.61  | 0.63 |
| 11.03.2003 | Sulfate - LAC              | mg/L       | 16 | 1 | 0 | 47.00  | 0.90 |
| 10.09.2003 | Sulfate - LAC              | mg/L       | 16 | 2 | 0 | 45.15  | 0.73 |
| 11.03.2003 | Sulfate - RIV              | mg/L       | 17 | 1 | 0 | 68.52  | 1.63 |
| 10.09.2003 | Sulfate - RIV              | mg/L       | 16 | 3 | 0 | 17.75  | 0.45 |
| 11.03.2003 | Mat. en suspension - RIV   | mg/L       | 12 | 0 | 0 | 2.10   | 0.94 |
| 10.09.2003 | Mat. en suspension - RIV   | mg/L       | 15 | 0 | 0 | 13.36  | 2.57 |

| U | Unités                           |
|---|----------------------------------|
| N | Nombre de résultats statistiques |
| D | Nombre d'aberrants selon Dixon   |
| С | Nombre d'aberrants selon         |
| ⊼ | Moyenne arithmétique             |
| σ | Ecart type                       |

RIV = échantillon d'eau de rivière

LAC = échantillon d'eau de lac

Tableau 3 : Echantillon synthétique "basses valeurs"

Table 3: Synthetic sample "low level"

| Date       | Paramètre – matrice                  | U      | N  | D | С | ₹     | σ     |
|------------|--------------------------------------|--------|----|---|---|-------|-------|
| 11.03.2003 | Carbone organique total - 1.4 mg C/L | mg C/L | 6  | 0 | 0 | 1.76  | 0.83  |
| 10.09.2003 | Carbone organique total – 1.2 mg C/L | mg C/L | 14 | 0 | 0 | 1.33  | 0.13  |
| 11.03.2003 | Ammonium - 0.013 mg N/L              | mg N/L | 9  | 1 | 0 | 0.016 | 0.003 |
| 10.09.2003 | Ammonium – 0.012 mg N/L              | mg N/L | 13 | 0 | 0 | 0.013 | 0.003 |
| 11.03.2003 | Orthophosphate - 0.008 mg P/L        | mg P/L | 9  | 0 | 0 | 0.008 | 0.002 |
| 10.09.2003 | Orthophosphate – 0.013 mg P/L        | mg P/L | 15 | 0 | 0 | 0.014 | 0.004 |

| U | Unités                           |
|---|----------------------------------|
| N | Nombre de résultats statistiques |
| D | Nombre d'aberrants selon Dixon   |
| С | Nombre d'aberrants selon Cochran |
| X | Moyenne arithmétique             |
| σ | Ecart type                       |

Tableau 4: Phytosanitaires, échantillon "de suivi" (mix A)

Table 4: Pesticides, fix sample (mix A)

| Date       | Paramètre – matrice                | U    | N  | D | С | X  | σ  |
|------------|------------------------------------|------|----|---|---|----|----|
| 11.03.2003 | Atrazine - Mix A - 26 ng/L         | ng/L | 12 | 1 | 0 | 25 | 3  |
| 11.03.2003 | Atrazine - Mix B - 36 ng/L         | ng/L | 11 | 1 | 0 | 50 | 7  |
| 11.03.2003 | Diéthyltoluamide - Mix A - 45 ng/L | ng/L | 7  | 0 | 0 | 46 | 13 |
| 11.03.2003 | Diéthyltoluamide - Mix B - 55 ng/L | ng/L | 8  | 0 | 0 | 79 | 40 |
| 11.03.2003 | Déséthylatrazine - Mix A - 58 ng/L | ng/L | 11 | 0 | 0 | 56 | 19 |
| 11.03.2003 | Déséthylatrazine - Mix B - 68 ng/L | ng/L | 10 | 1 | 0 | 81 | 8  |
| 11.03.2003 | Ethofumesate - Mix A - 37 ng/L     | ng/L | 8  | 0 | 0 | 41 | 17 |
| 11.03.2003 | Ethofumesate - Mix B - 47 ng/L     | ng/L | 8  | 0 | 0 | 85 | 64 |
| 11.03.2003 | Métamitron - Mix A - 41 ng/L       | ng/L | 7  | 0 | 0 | 40 | 20 |
| 11.03.2003 | Métamitron - Mix B - 51 ng/L       | ng/L | 8  | 0 | 0 | 51 | 28 |
| 11.03.2003 | Métribuzin - Mix A - 26 ng/L       | ng/L | 7  | 1 | 0 | 24 | 3  |
| 11.03.2003 | Métribuzin - Mix B - 36 ng/L       | ng/L | 9  | 0 | 0 | 44 | 15 |
| 11.03.2003 | Simazine - Mix A - 25 ng/L         | ng/L | 11 | 0 | 0 | 25 | 3  |
| 11.03.2003 | Simazine - Mix B - 35 ng/L         | ng/L | 11 | 0 | 0 | 35 | 8  |
| 11.03.2003 | Terbutylazine - Mix A - 21 ng/L    | ng/L | 11 | 0 | 0 | 19 | 2  |
| 11.03.2003 | Terbutylazine - Mix B - 31 ng/L    | ng/L | 10 | 0 | 0 | 32 | 9  |

| U | Unités                           |
|---|----------------------------------|
| N | Nombre de résultats statistiques |
| D | Nombre d'aberrants selon Dixon   |
| С | Nombre d'aberrants selon Cochran |
| × | Moyenne arithmétique             |
| σ | Ecart type                       |

Tableau 4 : Echantillon synthétique type "STEP"

Table 4: Synthetic "STEP" type sample (water treatment facility)

| Param.          | Valeur cible |       | U                    | N     |       | ₹     |       | σ (%) |       |
|-----------------|--------------|-------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Paraili.        | ⋝            | σ (%) | U                    | Total | CIPEL | Total | CIPEL | Total | CIPEL |
| DCO-A           | 280          | 5     | mg O <sub>2</sub> /L | 43    | 6     | 272   | 279   | 4.7   | 4.7   |
| DCO-B           | > 60         | 20    | mg O <sub>2</sub> /L | 43    | 6     | 63    | 59    | 16.5  | 9.1   |
| DBO5            | 178          | 15    | mg O <sub>2</sub> /L | 44    | 5     | 170   | 174   | 12.6  | 15.8  |
| NTK             | 46.6         | 5     | mg N/L               | 39    | 4     | 44.9  | 42.8  | 5.1   | 17.4  |
| NH <sub>4</sub> | 9.7          | 5     | mg N/L               | 43    | 8     | 11.7  | 11.7  | 9.3   | 8.0   |
| NO3             | 2.3          | 10    | mg N/L               | 41    | 7     | 2.3   | 2.2   | 10.0  | 5.6   |
| Ptot            | 4.1          | 10    | mg P/L               | 42    | 8     | 4.1   | 4.2   | 6.8   | 7.2   |
| PO <sub>4</sub> | 4.1          | 10    | mg P/L               | 42    | 8     | 4.1   | 4.2   | 6.6   | 8.9   |
| MES             | 100          | 10    | mg/L                 | 45    | 8     | 89    | 91    | 4.4   | 5.5   |

| U | Unités                           |
|---|----------------------------------|
| N | Nombre de résultats statistiques |
| D | Nombre d'aberrants selon Dixon   |
| С | Nombre d'aberrants selon Cochran |
| X | Moyenne arithmétique             |
| σ | Ecart type                       |

## **ABRÉVIATIONS**

| Ca       | calcium                        | mgCa/L                 | Na               | sodium                                  | mgNa/L                |
|----------|--------------------------------|------------------------|------------------|---|-----------------------|
| COD      | carbone organique dissous      | mgC/L                  | $NH_4$           | ammonium                                | mgN/L                 |
| COND     | conductivité (à 25°C)          | μS/cm                  | $NO_2$           | nitrite                                 | mgN/L                 |
| COT      | carbone organique total        | mgC/L                  | $NO_3$           | nitrate                                 | mgN/L                 |
| CI       | chlorure                       | mgCl/L                 | NTK              | azote Kjeldahl                          | mgN/L                 |
| DCO      | demande chimique en oxygène    | mgO <sub>2</sub> /L    | $PO_4$           | orthophosphate                          | mgP/L                 |
| $DBO_5$  | demande biochimique en oxygène | mgO <sub>2</sub> /L    | Ptot             | phosphore total                         | mgP/L                 |
| DT       | dureté totale                  | méq/L                  | SiO <sub>2</sub> | silice                                  | mgSiO <sub>2</sub> /L |
| K        | potassium                      | mgK/L                  | SO <sub>4</sub>  | sulfate                                 | mgSO <sub>4</sub> /L  |
| MES      | matières en suspension         | mg/L                   | TAC              | titre alcalimétrique                    | méq/L                 |
| $KMnO_4$ | oxydabilité                    | mgKMnO <sub>4</sub> /L | HAP              | Hydrocarbures aromatiques polycycliques |                       |
| Mg       | magnésium                      | mgMg/L                 | COV              | Composés organiques volatiles           |                       |

## **BIBLIOGRAPHIE**

ISO (1986) : Fidélité des méthodes d'essai. Norme internationale ISO 5725, 2ème édition.

TAYLOR, J.K. (1987): Quality assurance of chemical measurements. Lewis Publishers, inc., ISBN 0-87371-097-5, p. 15.

### Adresses:

- [1] INRA-UMR/CARRTEL, Avenue de Corzent 75, BP 511, FR 74203 THONON-LES-BAINS Cedex
- [2] Service cantonal de la protection de l'environnement, Case postale 145, CH 2034 PESEUX.
- [3] Laboratoire Santé-Environnement-Hygiène, Av. Jean Jaurès 321, FR 69632 LYON Cédex 7.

## ADRESSES DES AUTEURS DES RAPPORTS

ANNEVILLE Orlane Biologiste

Station d'Hydrobiologie Lacustre, INRA-UMR/CARRTEL

Avenue de Corzent 75 - BP 511

FR - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex

anneville@thonon.inra.fr

BALVAY Gérard Biologiste

Station d'Hydrobiologie Lacustre, INRA-UMR/CARRTEL

Avenue de Corzent 75 - BP 511

FR - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex

balvay@thonon.inra.fr

CHIFFLET Pascal Technicien

Station d'Hydrobiologie Lacustre, INRA-UMR/CARRTEL

Avenue de Corzent 75 - BP 511

FR - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex

chifflet@thonon.inra.fr

CLERC Aline Ingénieure

Secrétariat de la Commission internationale pour la protection des eaux du Léman Avenue de Chailly 23 - Case postale 80

CH - 1000 LAUSANNE 12

cipel@cipel.org

CORVI Claude Chimiste

Service de protection de la consommation

Case postale 166 CH - 1211 GENÈVE 4 claude.corvi@etat.ge.ch

DORIOZ Jean-Marcel Pédologue

Station d'Hydrobiologie Lacustre, INRA-UMR/CARRTEL

Avenue de Corzent 75 - BP 511

FR - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex

dorioz@thonon.inra.fr

DRUART Jean-Claude Biologiste

Station d'Hydrobiologie Lacustre, INRA-UMR/CARRTEL

Avenue de Corzent 75 - BP 511

FR - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex

druart@thonon.inra.fr

GERDEAUX Daniel Biologiste

Station d'Hydrobiologie Lacustre, INRA-UMR/CARRTEL

Avenue de Corzent 75 - BP 511

FR - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex

gerdeaux@thonon.inra.fr

HAMELET Valérie Technicienne

Station d'Hydrobiologie Lacustre, INRA-UMR/CARRTEL

Avenue de Corzent 75 - BP 511

FR - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex

hamelet@thonon.inra.fr

HUSTACHE Jean-Christophe Technicien

Station d'Hydrobiologie Lacustre, INRA-UMR/CARRTEL

Avenue de Corzent 75 - BP 511

FR - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex

hustache@thonon.inra.fr

LAINE Leslie Technicienne

Station d'Hydrobiologie Lacustre, INRA-UMR/CARRTEL

Avenue de Corzent 75 - BP 511

FR - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex

laine@thonon.inra.fr

LASCOMBE Claude Biologiste

Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée et Corse

2-4, Allée de Lodz

FR - 69363 LYON Cedex 07 claude.lascombe@eaurmc.fr

LAZZAROTTO Jérôme Chimiste

Station d'Hydrobiologie Lacustre, INRA-UMR/CARRTEL

Avenue de Corzent 75 - BP 511

FR - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex

lazzarotto@thonon.inra.fr

LEBOULANGER Christophe Biologiste

Station d'Hydrobiologie Lacustre, INRA-UMR/CARRTEL

Avenue de Corzent 75 - BP 511

FR - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex

leboulanger@thonon.inra.fr

LODS-CROZET Brigitte Biologiste

Service des eaux, sols et assainissement

Chemin des Boveresses 155 CH - 1066 EPALINGES brigitte.lods-crozet@sesa.vd.ch

MOILLE Jean-Paul Technicien

Station d'Hydrobiologie Lacustre, INRA-UMR/CARRTEL

Avenue de Corzent 75 - BP 511

FR - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex

moille@thonon.inra.fr

QUÉTIN Philippe Ingénieur

Station d'Hydrobiologie Lacustre, INRA-UMR/CARRTEL

Avenue de Corzent 75 - BP 511 FR - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex

quetin@thonon.inra.fr

RAPIN François Géologue

Secrétariat de la Commission internationale pour la protection des eaux du Léman Avenue de Chailly 23 - Case postale 80

CH - 1000 LAUSANNE 12

cipel@cipel.org

REYMOND Olivier Biologiste

Service des eaux, sols et assainissement

Chemin des Boveresses 155 CH - 1066 EPALINGES olivier.reymond@sesa.vd.ch

ROLLAND Anne Stagiaire

Station d'Hydrobiologie Lacustre, INRA-UMR/CARRTEL

Avenue de Corzent 75 - BP 511

FR - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex

STRAWCZYNSKI Andrés Chimiste

Service des eaux, sols et assainissement

Chemin des Boveresses 155 CH - 1066 EPALINGES andres.strawczynski@sesa.vd.ch