

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 2002**

*Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut.,  
Campagne 2002, 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](mailto:cipel@cipel.org)

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

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

## SOMMAIRE

|                                                            |   |
|------------------------------------------------------------|---|
| FICHE SIGNALÉTIQUE DU LÉMAN ET DE SON BASSIN VERSANT ..... | 7 |
|------------------------------------------------------------|---|

|                                             |    |
|---------------------------------------------|----|
| CONCLUSIONS GÉNÉRALES - Campagne 2002 ..... | 11 |
|---------------------------------------------|----|

## RAPPORTS SUR LES ÉTUDES ET RECHERCHES ENTREPRISES DANS LE BASSIN LÉMANIQUE

|                                                                                                                                |               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>1. MÉTÉOROLOGIE .....</b>                                                                                                   | <b>19</b>     |
| 1. Introduction .....                                                                                                          | 19            |
| 2. Température de l'air .....                                                                                                  | 20            |
| 3. Pluviométrie .....                                                                                                          | 22            |
| 4. Insolation .....                                                                                                            | 24            |
| 5. Rayonnement .....                                                                                                           | 26            |
| 6. Vent .....                                                                                                                  | 28            |
| 7. Conclusions .....                                                                                                           | 30            |
| 8. Relation climat-lac .....                                                                                                   | 30            |
| – Bibliographie .....                                                                                                          | 30            |
| <br><b>2. ÉVOLUTION PHYSICO-CHIMIQUE ET RECHERCHE DE MÉTAUX ET<br/>DE QUELQUES MICROPOLLUANTS DANS LES EAUX DU LÉMAN .....</b> | <br><b>31</b> |
| 1. Méthodes .....                                                                                                              | 32            |
| 2. Régime thermique et influence sur la stratification ou le mélange des eaux .....                                            | 33            |
| 3. Evolution saisonnière dans les couches superficielles .....                                                                 | 37            |
| 3.1 Brassage hivernal et reprise de l'activité photosynthétique au printemps .....                                             | 37            |
| 3.2 Reste de l'année .....                                                                                                     | 41            |
| 4. Evolution saisonnière dans les couches profondes .....                                                                      | 43            |
| 5. Evolution interannuelle des principaux paramètres .....                                                                     | 46            |
| 5.1 Oxygène dissous .....                                                                                                      | 46            |
| 5.2 Phosphore dissous et phosphore total .....                                                                                 | 47            |
| 5.3 Transparence .....                                                                                                         | 49            |
| 5.4 Azote nitrique et azote total .....                                                                                        | 49            |
| 5.5 Chlorure .....                                                                                                             | 50            |
| 6. Métaux et micropolluants organiques .....                                                                                   | 51            |
| 6.1 Métaux .....                                                                                                               | 51            |
| 6.2 Pesticides (phytosanitaires) .....                                                                                         | 51            |
| 6.3 NTA-EDTA .....                                                                                                             | 51            |
| 7. Conclusions .....                                                                                                           | 54            |
| – Bibliographie .....                                                                                                          | 55            |
| – Annexes .....                                                                                                                | 56            |
| <br><b>3. DYNAMIQUE DE LA PRODUCTION PHYTOPLANCTONIQUE<br/>ET DE LA BIOMASSE CHLOROPHYLLIENNE DANS LE LÉMAN .....</b>          | <br><b>59</b> |
| 1. Introduction .....                                                                                                          | 59            |
| 2. Méthodes .....                                                                                                              | 60            |
| 3. Résultats .....                                                                                                             | 60            |
| 3.1 Répartitions verticales .....                                                                                              | 60            |
| 3.2 Variations saisonnières .....                                                                                              | 61            |
| 3.3 Production annuelle .....                                                                                                  | 66            |
| 4. Conclusions .....                                                                                                           | 66            |
| – Bibliographie .....                                                                                                          | 67            |

|                                                                                       |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>4. ÉVOLUTION DU PHYTOPLANCTON DU LÉMAN</b>                                         | <b>69</b>  |
| 1. Introduction                                                                       | 69         |
| 2. Méthodes                                                                           | 70         |
| 3. Résultats                                                                          | 70         |
| 3.1 Le Grand Lac (SHL2)                                                               | 70         |
| - Variations saisonnières et évolution interannuelle de la biomasse                   | 70         |
| - Richesse taxonomique                                                                | 72         |
| - Répartition par classes d'algues et par classes de taille                           | 73         |
| - Contribution des principales espèces                                                | 76         |
| - Succession des espèces                                                              | 77         |
| 3.2 Le Petit Lac (GE3)                                                                | 79         |
| - Biomasses et variations saisonnières                                                | 79         |
| - Richesse taxonomique                                                                | 80         |
| - Succession des espèces et variations saisonnières                                   | 80         |
| 4. Conclusions                                                                        | 81         |
| – Bibliographie                                                                       | 81         |
| – Annexes                                                                             | 82         |
| <b>5. ÉVOLUTION DU ZOOPLANCTON DU LÉMAN</b>                                           | <b>85</b>  |
| 1. Introduction                                                                       | 85         |
| 2. Méthodologie                                                                       | 85         |
| 3. Biovolume sédimenté                                                                | 86         |
| 3.1 Variations saisonnières                                                           | 86         |
| 3.2 Evolution à long terme                                                            | 87         |
| 3.3 Relation phosphore total - zooplancton                                            | 87         |
| 4. Composition de la biocénose rotatorienne                                           | 87         |
| 4.1 Microcrustacés                                                                    | 87         |
| 4.2 Aperçu sur quelques rotifères                                                     | 93         |
| 4.3 Autres groupes planctoniques                                                      | 93         |
| 5. Conclusions                                                                        | 95         |
| – Bibliographie                                                                       | 96         |
| – Annexe                                                                              | 97         |
| <b>6. RÉGIME ALIMENTAIRE DES CORÉGONES DU LÉMAN EN MILIEU PÉLAGIQUE</b>               | <b>99</b>  |
| 1. Introduction                                                                       | 99         |
| 2. Méthodologie                                                                       | 100        |
| 3. Résultats                                                                          | 100        |
| 3.1 Taille des poissons examinés                                                      | 100        |
| 3.2 Evolution mensuelle du taux de vacuité                                            | 101        |
| 3.3 Composition du régime alimentaire                                                 | 103        |
| 4. Conclusions                                                                        | 105        |
| – Bibliographie                                                                       | 105        |
| <b>7. BILAN DES APPORTS PAR LES AFFLUENTS AU LÉMAN ET AU RHÔNE À L'AVAL DE GENÈVE</b> | <b>107</b> |
| 1. Généralités                                                                        | 108        |
| 2. Débits des affluents principaux et de l'émissaire                                  | 110        |
| 3. Apports annuels et composition de l'eau des affluents                              | 111        |
| 3.1 Phosphore                                                                         | 111        |
| 3.2 Azote minéral et organique                                                        | 113        |
| 3.3 Chlorure                                                                          | 116        |
| 3.4 Carbone organique                                                                 | 117        |
| 4. Etude des affluents complémentaires                                                | 117        |
| 4.1 Phosphore dissous (orthophosphate) et phosphore total                             | 117        |
| 4.2 Azote minéral total                                                               | 118        |
| 4.3 Chlorure                                                                          | 118        |
| 5. Bassin versant du Rhône de Genève à Chancy                                         | 118        |
| 6. Conclusions                                                                        | 120        |
| 6.1 Bassin versant du Léman                                                           | 120        |
| 6.2 Bassin versant du Rhône aval jusqu'à Chancy                                       | 120        |
| – Bibliographie                                                                       | 120        |
| – Tableaux récapitulatifs                                                             | 121        |

|                                                                 |            |
|-----------------------------------------------------------------|------------|
| <b>8. QUALITÉ DES EAUX POTABLES PRODUITES À PARTIR DU LÉMAN</b> | <b>123</b> |
| 1. Introduction                                                 | 124        |
| 2. Echantillonnage                                              | 125        |
| 3. Filières de traitement des différentes installations         | 126        |
| 4. Résultats                                                    | 127        |
| 4.1 Matières en suspension                                      | 127        |
| 4.2 Turbidité                                                   | 128        |
| 4.3 Carbone organique total                                     | 128        |
| 4.4 Absorbance dans l'ultraviolet                               | 130        |
| 4.5 Aluminium résiduel                                          | 131        |
| 4.6 Fer résiduel                                                | 132        |
| 4.7 Autres métaux lourds                                        | 133        |
| 4.8 Microbiologie                                               | 133        |
| 4.9 Trihalométhanes                                             | 134        |
| 4.10 Autres composés organo-halogénés (COV)                     | 134        |
| 4.11 Pesticides                                                 | 135        |
| 4.12 Agents complexants EDTA - NTA                              | 136        |
| 5. Conclusions                                                  | 138        |
| – Bibliographie                                                 | 138        |

## RAPPORTS TECHNIQUES

|                                                                                   |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>9. CONTRÔLE DES STATIONS D'ÉPURATION (STEP)</b>                                | <b>141</b> |
| 1. Introduction                                                                   | 142        |
| 2. Nombre de STEP, capacité et populations raccordées                             | 142        |
| 3. Contrôles                                                                      | 144        |
| 4. Bilan des flux et rendements d'épuration                                       | 145        |
| 4.1 Débits                                                                        | 145        |
| 4.2 Demande biochimique en oxygène (DBO <sub>5</sub> )                            | 148        |
| 4.3 Phosphore total et phosphore dissous (P-PO <sub>4</sub> )                     | 150        |
| 5. Bilan des apports en phosphore au lac et aux cours d'eau par les STEP          | 151        |
| 6. Pistes de réduction des apports en phosphore par les systèmes d'assainissement | 153        |
| 7. Conclusions                                                                    | 154        |
| – Bibliographie                                                                   | 154        |
| – Annexes                                                                         | 155        |
| <b>10. ANALYSES COMPARATIVES INTERLABORATOIRES</b>                                | <b>161</b> |
| 1. Introduction                                                                   | 161        |
| 2. Éléments majeurs dans des eaux de type lac et rivière                          | 162        |
| 2.1 Résultats                                                                     | 162        |
| 2.2 Conclusions                                                                   | 163        |
| 3. Phytosanitaires                                                                | 163        |
| 4. Hydrocarbures totaux (eau résiduelle industrielle)                             | 166        |
| 5. Echantillon synthétique type "STEP"                                            | 166        |
| 6. Conclusions générales                                                          | 166        |
| – Tableaux                                                                        | 167        |
| – Abréviations                                                                    | 172        |
| – Bibliographie                                                                   | 172        |
| – LISTE DES AUTEURS                                                               | 173        |



# FICHE SIGNALÉTIQUE DU LÉMAN ET DE SON BASSIN VERSANT

## LE LÉMAN

|                                                                 |                                                     |        |                     |                                     |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------|---------------------|-------------------------------------|
| Position géographique moyenne :                                 | 46°27' lat. N<br>6°32' long. E de Greenwich         |        |                     |                                     |
| Altitude moyenne du plan d'eau (1930-2001) * :                  | 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 m <sup>3</sup> soit 89 km <sup>3</sup> |        |                     |                                     |
| Débit moyen du Rhône amont (à la Porte du Scex) (1935-2001) * : | 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) (1935-2001) * :    | 252 m <sup>3</sup> /s                               |        |                     |                                     |
|                                                                 |                                                     | dont : | .                   | maxi (1995) : 327 m <sup>3</sup> /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 (km <sup>2</sup> / %)     | 580.1 | 498.90 / 86 | 81.20 / 14 |
| Superficie de la zone 0-12 m (km <sup>2</sup> / %) | 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.

\* Annuaire hydrologique de la Suisse, 2001

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

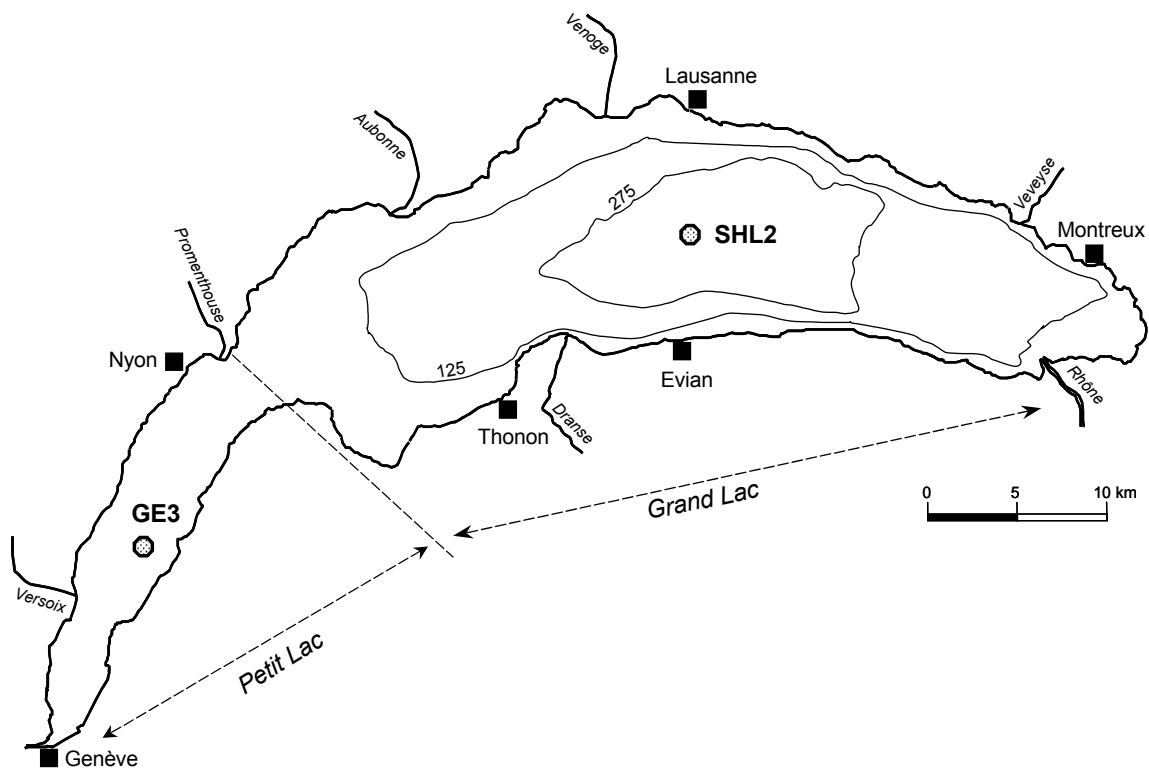


Figure 1 : Le Léman et situation des stations de prélèvements  
SHL2 : (coord. CH : 534.70 / 144.95)  
GE3 : (ccord. CH : 506.10 / 128.04)

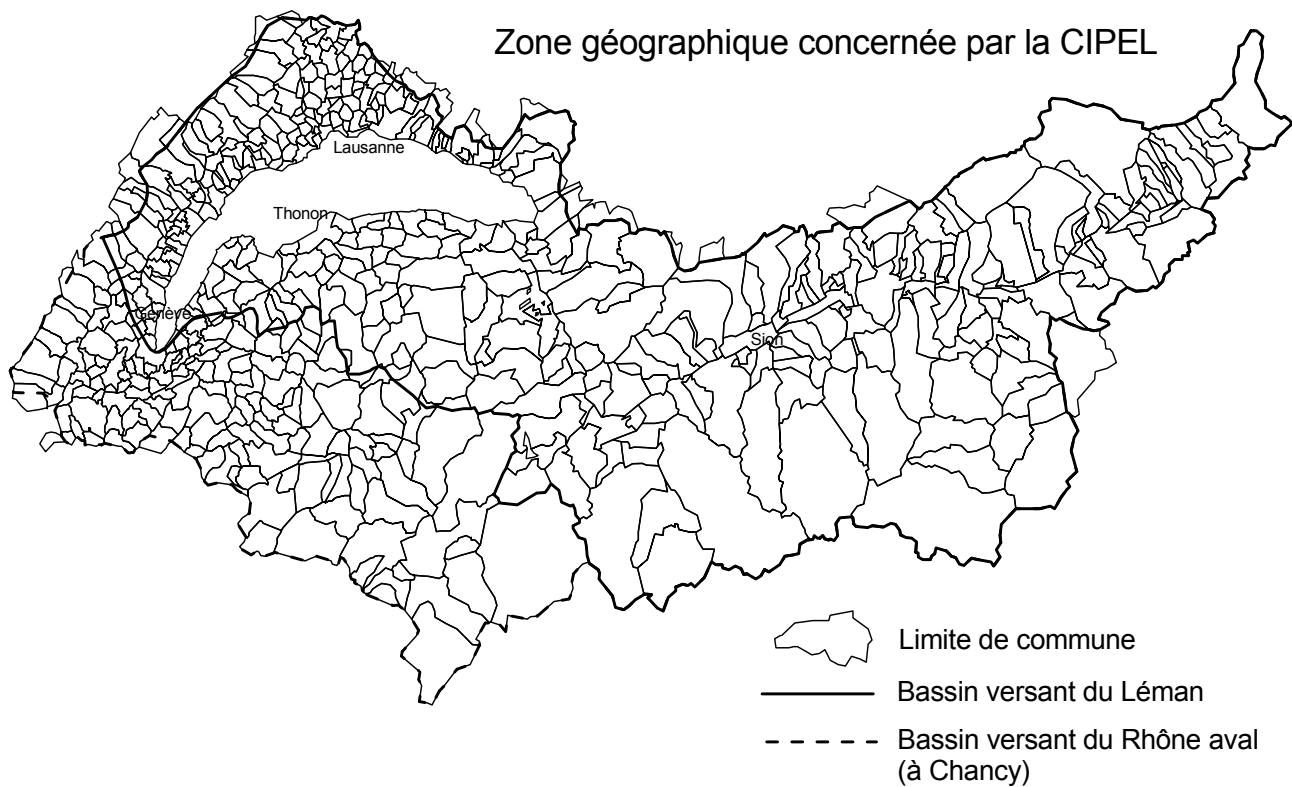


Figure 2 : Le bassin versant du Léman et du Rhône aval jusqu'à la frontière franco-suisse de Chancy



## **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>

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

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

Population permanente (01.01.2003) : 948'530  
dont : . France : 122'100  
          . Suisse : 826'430

Population touristique  
(capacité d'accueil - 01.01.2003) : 618'620  
dont : . France : 169'360  
          . Suisse : 449'260

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

|                      |        |
|----------------------|--------|
| . Terres incultes    | 34.5 % |
| . Forêts             | 22.0 % |
| . Pâturages          | 23.0 % |
| . 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)

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

Altitude moyenne \* : 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) (1935-2001) \* : 343 m<sup>3</sup>/s  
dont : . maxi (1995) : 434 m<sup>3</sup>/s  
          . mini (1976) : 219 m<sup>3</sup>/s

Population permanente (01.01.2003) : 1'617'600  
dont : . France : 416'090  
          . Suisse : 1'201'510

Population touristique  
(capacité d'accueil - 01.01.2003) : 922'710  
dont : . France : 454'980  
          . Suisse : 467'730

\* Annuaire hydrologique de la Suisse, 2001

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



# CONCLUSIONS GÉNÉRALES

## Campagne 2002

PAR

### LE CONSEIL SCIENTIFIQUE DE LA COMMISSION INTERNATIONALE

CIPEL, CP 80, CH - 1000 LAUSANNE 12

## L A C

### Evolution physico-chimique

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

L'hiver 2002-2003 a été un hiver doux, avec seulement 22 jours de gel, et peu venté. Le brassage du lac n'a concerné que les 120 mètres supérieurs.

La concentration en oxygène des eaux du fond du Grand Lac atteint 4.31 mgO<sub>2</sub>/L au maximum au mois de juin et 1.91 mgO<sub>2</sub>/L au minimum à mi-octobre. Dix mois sur douze, la concentration en oxygène dissous est inférieure à 4 mgO<sub>2</sub>/L dans les eaux du fond (figure 1).

La température des eaux du fond continue d'augmenter. Depuis le brassage complet de 1986, il y a un accroissement de 1°C. En 2002, on observe 5.94°C en moyenne contre 5.86°C en 2001.

#### ☐ Une stabilité des teneurs en nutriments

La concentration moyenne en phosphore total des eaux du lac est de 34 µgP/L en 2002, sans évolution significative par rapport à 2001. Pour le stock de phosphore total du Grand Lac, on observe une valeur de 2'920 tonnes de phosphore en moyenne pour l'année 2002 (figure 2).

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.

Le phosphore dissous est consommé en quasi-totalité dans les couches superficielles à partir de mi-mars 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 7.85 mgCl/L, soit 3.3 % de plus qu'en 2001.

### Evolution biologique

#### ☐ Le phytoplancton

La biomasse moyenne annuelle, qui avait connu une très grande augmentation en 2001 avec 4'976 mg/m<sup>3</sup>, a été estimée à 2'747 mg/m<sup>3</sup> en 2002, se rapprochant ainsi des valeurs plus habituelles pour le Léman.

Le nombre des taxons a augmenté (de 92 à 119), mais celui des espèces dominantes (9) est resté le même.

La tendance observée depuis ces dernières années d'un rapport des biomasses printanières aux biomasses estivales (BP/BE) relativement faible n'apparaît pas en 2002; cela traduit, d'une part, l'augmentation des biomasses printanières (BP) et, d'autre part, des biomasses estivales (BE) sans valeurs excessives.

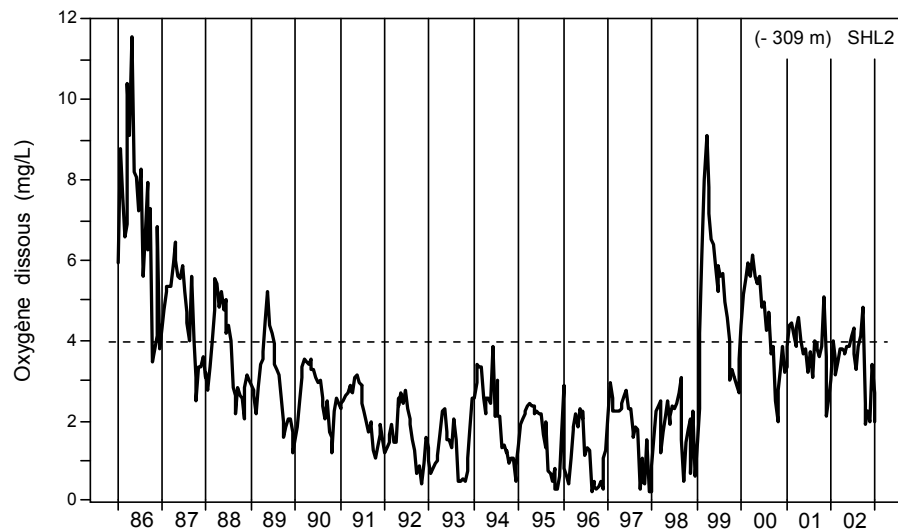


Figure 1

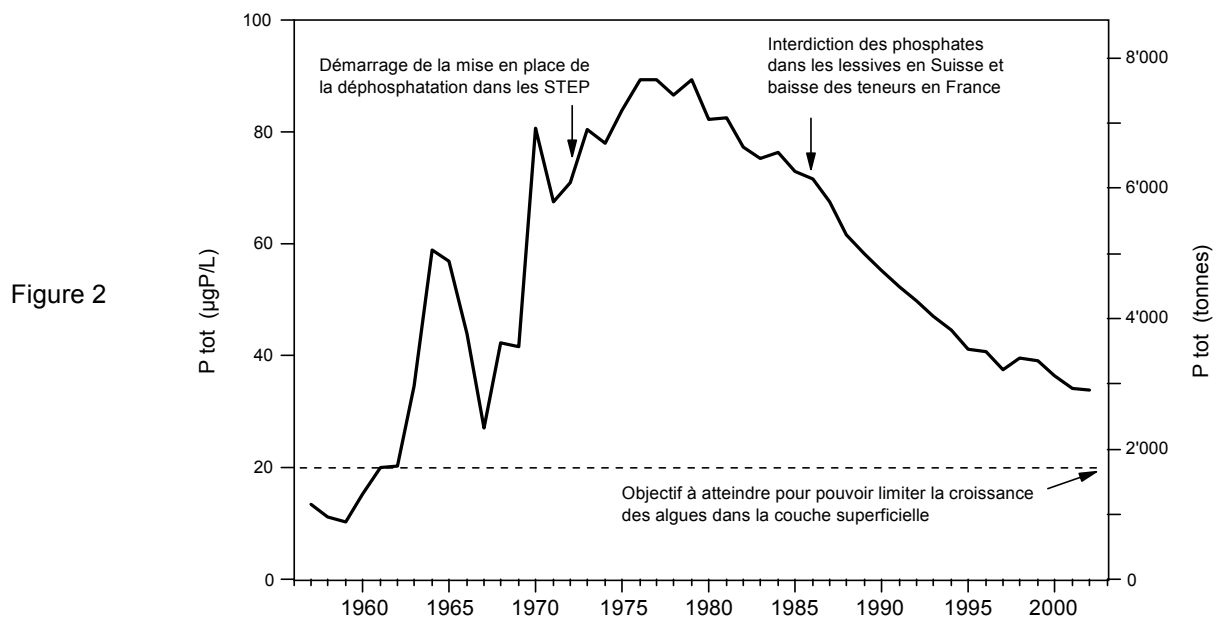


Figure 2

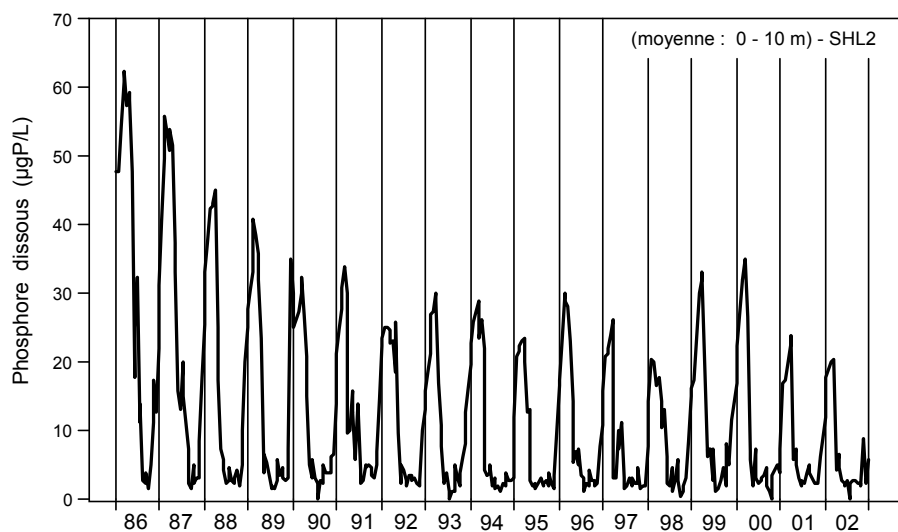


Figure 3

Le pic de la biomasse printanière qui a normalement lieu en avril s'est produit un mois plus tôt, en 2002. Cette perturbation d'ordre chronologique va dans le sens de ce qu'a décrit ANNEVILLE (2001) au sujet du modèle saisonnier des successions phytoplanctoniques du Léman.

Enfin, l'année 2002 n'a pas présenté de développement phytoplanctonique estival majeur comme cela a été le cas en 2001.

La production annuelle nette a été estimée à 232 g de carbone fixé par m<sup>2</sup>, soit seulement 60 % de celle observée en 2001. Elle est comparable aux estimations des années précédentes.

Les événements remarquables de cette année sont : - une forte activité de production principalement entre mars et mai, sans seconde poussée en automne ; - la persistance d'une biomasse phytoplanctonique significative, liée à une production primaire également forte, pendant les mois d'hiver. La concentration moyenne pondérée en chlorophylle *a* dans la couche 0-10 m est par contraste plus importante que les années précédentes, avec 7.5 mg chl *a*/m<sup>3</sup> et une phase d'eaux claires peu ou pas marquée. La productivité moyenne annuelle est cependant relativement faible, dans la continuité de la décroissance observée au cours des années 1999-2000, et comparable à la période 1987-1993. Les mesures réalisées en 2002 semblent donc confirmer le caractère exceptionnel de l'année 2001.

## □ Le zooplancton

L'étude du zooplancton a pu être effectuée correctement en 2002, le phytoplancton ayant bien moins perturbé les prélèvements avec ses espèces filamenteuses qu'en 2001. Le biovolume sédimenté du zooplancton a diminué en 2002, de même que l'abondance des organismes pélagiques. Ceci est dû à la moindre abondance des Cyclopoïdes et des Branchiopodes par rapport aux années précédentes. Il faut noter la chute drastique d'abondance de *Cyclops vicinus* et l'essor des Bosminidés après leur déclin observé en 2000, globalement plus nombreux que les Daphniidés durant le premier semestre. L'amélioration du fonctionnement du réseau trophique en 2002 est montrée par la simultanéité entre l'apparition de la phase des eaux claires, le développement printanier des branchiopodes herbivores et l'abondance réduite du nanophytoplancton.

## □ Le régime alimentaire des corégones

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 2002, selon le même protocole qu'en 1999 et 2000. Les proies de ces poissons sont pour l'essentiel des Cladocères : Daphnies, *Bythotrephes* et *Leptodora*. *Leptodora* est une proie estivale. La part des Daphnies dans le régime alimentaire des corégones diminue au cours des 4 années d'observation, celle de *Bythotrephes* augmente en contrepartie. Au travers de l'alimentation du corégone on observe une tendance qui traduit des changements réguliers progressifs des structures zooplanctoniques.

## □ Le fonctionnement biologique du lac

En début d'année 2002, la quantité de phosphore disponible dans les eaux superficielles est un peu moins importante qu'en 2001. La densité de zooplancton herbivore est faible. Durant cette période la prédation des corégones se porte sur les Copépodes, ressource alimentaire peu recherchée. L'absence de pression de broutage zooplanctonique permet un bon développement du phytoplancton. Cette production consomme le phosphore disponible rapidement. Toutefois, cette poussée nano- et microphytoplanctonique a permis le démarrage de la dynamique de la population de Daphnies. Les corégones se nourrissent alors de ces Daphnies et ils doivent contribuer par prédation à la chute de cette population.

En mai, des éléments nutritifs se retrouvent mis à disposition des producteurs primaires par dégradation de la matière organique produite en mars et excrétion des organismes animaux. Cela permet une reprise de la production d'espèces algales d'eau plus chaude en juin (*Ceratium* et *Dinobryon*) et moins exigeantes en phosphore. Ce microphytoplancton peu consommable par les Daphnies ne permet pas le redémarrage de la dynamique de cette population. Cette biomasse de phytoplancton reste présente en juillet sans apporter une grande production. Les seules espèces du zooplancton qui se développent sont les grands cladocères *Leptodora* et *Bythotrephes*, carnivores opportunistes qui consomment des protistes et du petit zooplancton. Toutefois, une petite production de nanophytoplancton à la mi-août permet la reprise de la dynamique des Daphnies que l'on retrouve dans les estomacs des corégones.

En fin d'été, le microphytoplancton meurt petit à petit et sédimente, exportant de la biomasse en dessous de la zone de production primaire. L'augmentation de la densité de Daphnies fin octobre correspond à un développement de nanophytoplancton auparavant. Cette dynamique est stoppée rapidement par disparition de cette nourriture et par prédation des poissons. En fin d'année, la biomasse planctonique est faible. Les cyanobactéries dominent ce peuplement.

## **□ La qualité sanitaire des eaux littorales pour la baignade**

En 2002, les contrôles de la qualité hygiénique des eaux littorales et des plages, faits par les autorités compétentes, montrent que pour 77 % des 91 points de contrôle cette qualité est bonne, qu'elle est moyenne pour 19 % des cas et que dans 4 % 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 26 - juin 2003).

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.

## **L'eau potable obtenue par pompages au lac**

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

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

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

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

En regard des filières de traitement en vigueur dans l'arc lémanique, il est indispensable de continuer à surveiller la qualité de notre ressource et de limiter au maximum les apports de substances anthropiques.

## **BASSINS VERSANTS DU LÉMAN ET DU RHÔNE AVAL**

### **□ Bilan des apports au lac par les rivières**

Bien que l'année 2002 soit une année de pluviométrie relativement élevée au voisinage du Léman, les débits moyens annuels sont légèrement inférieurs à la moyenne de la période 1981-2000.

En 2002, les apports en phosphore total au lac par les quatre rivières principales ont été de 1'010 tonnes. Le Rhône amont représente 91.5 % de ces apports. Les sept rivières complémentaires apportent 48 tonnes de phosphore total au Léman.

Les apports en phosphore dissous des quatre rivières principales (53.1 tonnes, dont 40.2 pour le Rhône amont) et des rivières complémentaires (6.7 tonnes) sont du même niveau que ceux de 2000. Les concentrations moyennes annuelles sont dans certaines rivières, telles que la Chamberonne (56 µgP/L), la Dullive (44 µgP/L) et la Morges (42 µgP/L), encore relativement élevées.

Les concentrations en azote minéral total varient de 0.65 mgN/L dans la Dranse à 5.2 mgN/L dans la Morges. La Venoge, ainsi que deux rivières complémentaires, la Morges et l'Eau froide, dépassent la concentration moyenne annuelle de 3 mgN/L.

Les apports en chlorure sont en baisse avec 53'600 tonnes dans les rivières principales. Les sept affluents complémentaires apportent 2'470 tonnes. La concentration moyenne annuelle pondérée par les débits dans les rivières complémentaires (7.97 mgCl/L) est du même ordre que celle des rivières principales (8.1 mgCl/L).

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

Les analyses effectuées sur les différentes rivières en aval du lac permettent d'apprécier la part due au 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 1.3, on constate que les nitrates sont multipliés par un facteur de 3, le phosphore total augmente d'un facteur 3.2 et le phosphore dissous d'un facteur 3.6.

### **□ L'épuration des eaux usées**

En 2002, 219 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 4'125'000 équivalents-habitants. Entre 1999 et 2002 dix nouvelles STEP ont été mises en service et près de 20 STEP, dont la STEP d'Aïre (Genève), ont été modernisées et agrandies. Dans le même temps, et malgré une augmentation de la population de 50'000 habitants, le taux de raccordement est passé de 91 % à 93 %.

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.

Les débits spécifiques en entrée de STEP sont toujours relativement élevés et conduisent à des déversements d'eaux usées en entrée de station, en cours de traitement et probablement aussi dans les réseaux.

Pour le bassin du Léman, les rendements d'épuration ( $DBO_5$  et phosphore total) sur le traitement des eaux, sans tenir compte des charges déversées en entrée de STEP ou en cours de traitement, se sont stabilisés en marquant une légère baisse. Par contre, les rendements globaux ont légèrement augmenté grâce à la diminution des déversements.

Concernant l'élimination du phosphore par les STEP du bassin du Léman, le bilan est contrasté. Le point positif est la baisse des charges déversées sans traitement complet. Par contre la somme des charges rejetées par les STEP a augmenté, contribuant à une hausse générale des apports en phosphore. Cette évolution s'explique par l'augmentation des charges en entrée de STEP et la diminution du rendement d'épuration des eaux traitées, qui a un effet significatif sur l'évolution des charges rejetées.

Quelques propositions d'actions pour réduire les apports en phosphore ont été évaluées et leurs effets chiffrés en tonnes par an. Ces chiffres, considérés comme des ordres de grandeurs très généraux, indiquent que l'amélioration de l'efficacité de l'élimination du phosphore sur les eaux traitées par les STEP est une mesure efficace, à combiner avec la réduction des apports à la source, le raccordement des populations, les actions sur les réseaux ou la diminution des déversements au niveau des STEP.





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

**Campagne 2002**



# MÉTÉOROLOGIE

## WEATHER

### Campagne 2002

PAR

**Philippe QUÉTIN**

STATION D'HYDROBIOLOGIE LACUSTRE (INRA-UMR/CARTEL), 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 interstations en 2002 est de 11.5°C, à la station de Thonon elle atteint 11.8°C. Depuis le début des mesures à Thonon, en 1951, le seuil des 11.0°C a été dépassé à 15 reprises, dont 10 fois depuis 1990. On n'a relevé que 22 jours de gel sur l'année.*

*L'année 2002 a une moyenne interstations des précipitations de 1210 mm, à Thonon le total annuel se situe au 16<sup>e</sup> rang de la chronologie 1951-2002.*

*Concernant l'insolation, l'année 2002, avec une moyenne interstations de 1833 h, se classe parmi les années moyennes. A Thonon, son rang est le 27<sup>e</sup> dans la période 1954-2002.*

*Les remarques faites sur l'insolation sont également valables pour le rayonnement global. La moyenne interstations pour l'année 2002 est de 11.9 MJ/m<sup>2</sup>.j.*

*L'année 2002 apparaît comme une année moyennement agitée. A la station de Changins, station de référence, les vents de l'année 2002 sont, dans leur ensemble, dans le demi-cercle de secteur est-ouest. Les vents forts, dont la vitesse est supérieure à 5 m/s, se répartissent entre les secteurs SW, NE et E.*

#### 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 taken into account were the air temperature, rainfall, insolation, global irradiation and wind.*

*The mean annual interstation temperature in 2002 was 11.5°C; at the Thonon station it was 11.8°C. Since measurements began at Thonon in 1951, the annual mean had been above the 11.0°C for 15 years, 10 of them since 1990. A temperature below freezing point was recorded on only 22 days during 2002.*

*2002 had an interstation mean rainfall of 1210 mm; at Thonon the annual total ranked 16th for the 1951-2002 period.*

*With regard to insolation, the year 2002, with an interstation mean of 1833 h, was an average year. At Thonon it was ranked 27th over the 1954-2002 period.*

*The comments about the insolation also apply to the global irradiation. The interstation mean for 2002 was 11.9 MJ/m<sup>2</sup>.d.*

*2002 was a fairly windy year. At the Changins station, the reference station, in 2002 the prevalent wind directions were in the east-west semicircle. The stronger winds, with a windspeed of more than 5 m/s, blew from the SW, NE and E.*

#### 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.

## 2. TEMPÉRATURE DE L'AIR

En 2002, la température moyenne annuelle interstations est de 11.5°C, soit 0.4°C de plus qu'en 2001. Changins, avec une moyenne annuelle de 11.1°C, apparaît comme la station la plus froide, Thonon avec 11.8°C la plus chaude.

A Thonon, en juin, la température moyenne mensuelle fut égale au maximum enregistré entre 1951 et 2001 (1976 : 20.3°C), au mois de décembre elle fut supérieure au maximum de 0.2°C (2000 : 5.7°C). C'est la première fois depuis 1951 qu'au mois de décembre, il n'y eut aucun jour de gel. Au niveau de l'année, 2002 avec 22 jours de gel se classe au 2<sup>e</sup> rang (après 1994 avec 19 jours).

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

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

|                  | Genève | Changins | Pully | Montreux | Thonon | Thonon<br>1951-2000 |
|------------------|--------|----------|-------|----------|--------|---------------------|
| Janvier          | 1.4    | 1.3      | 2.3   | 2.3      | 2.4    | 2.3                 |
| Février          | 6.3    | 5.9      | 6.2   | 6.3      | 6.5    | 3.5                 |
| Mars             | 7.8    | 7.5      | 7.9   | 8.0      | 7.9    | 6.1                 |
| Avril            | 10.5   | 10.3     | 10.6  | 10.5     | 10.4   | 9.4                 |
| Mai              | 13.4   | 12.8     | 13.3  | 13.2     | 13.2   | 13.9                |
| Juin             | 20.5   | 19.8     | 20.3  | 20.0     | 20.3   | 17.1                |
| Juillet          | 19.9   | 19.3     | 19.5  | 19.4     | 19.9   | 19.9                |
| Août             | 18.6   | 18.2     | 18.6  | 18.4     | 19.0   | 19.4                |
| Septembre        | 15.1   | 14.6     | 14.7  | 15.0     | 15.3   | 16.3                |
| Octobre          | 11.6   | 11.1     | 11.6  | 11.5     | 12.1   | 11.6                |
| Novembre         | 7.8    | 7.3      | 8.0   | 7.8      | 8.3    | 6.2                 |
| Décembre         | 5.6    | 5.1      | 5.5   | 5.6      | 5.9    | 3.3                 |
| Moyenne annuelle | 11.5   | 11.1     | 11.5  | 11.5     | 11.8   | 10.6                |

Avec une température annuelle de 11.8°C à Thonon, l'année 2002 se classe dans les années chaudes, au deuxième rang de la période 1951-2002 (comme 2000). C'est la 10<sup>e</sup> fois sur la période 1990 - 2002 que le seuil des 11.0°C est dépassé. Globalement, depuis 1978, la température moyenne interstations a augmenté de 2.15°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                            |        |                                 |

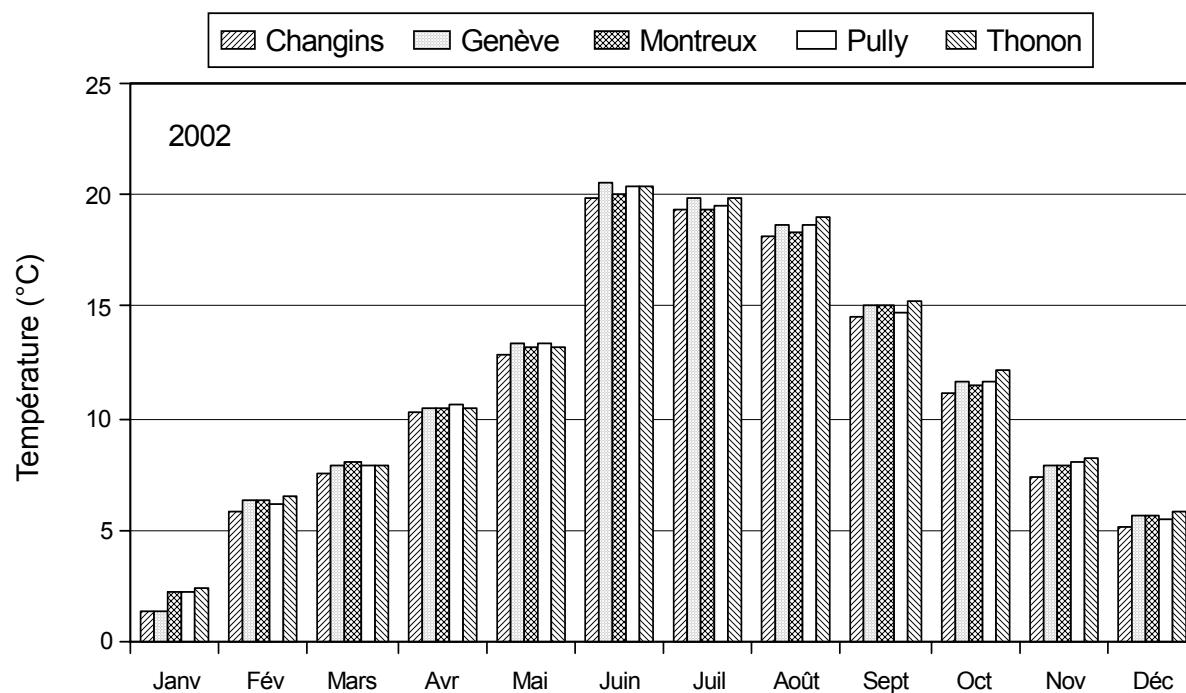


Figure 1.1 : Moyenne mensuelle de la température de l'air de chaque station en 2002

Figure 1.1 : Mean monthly air temperature at each station in 2002

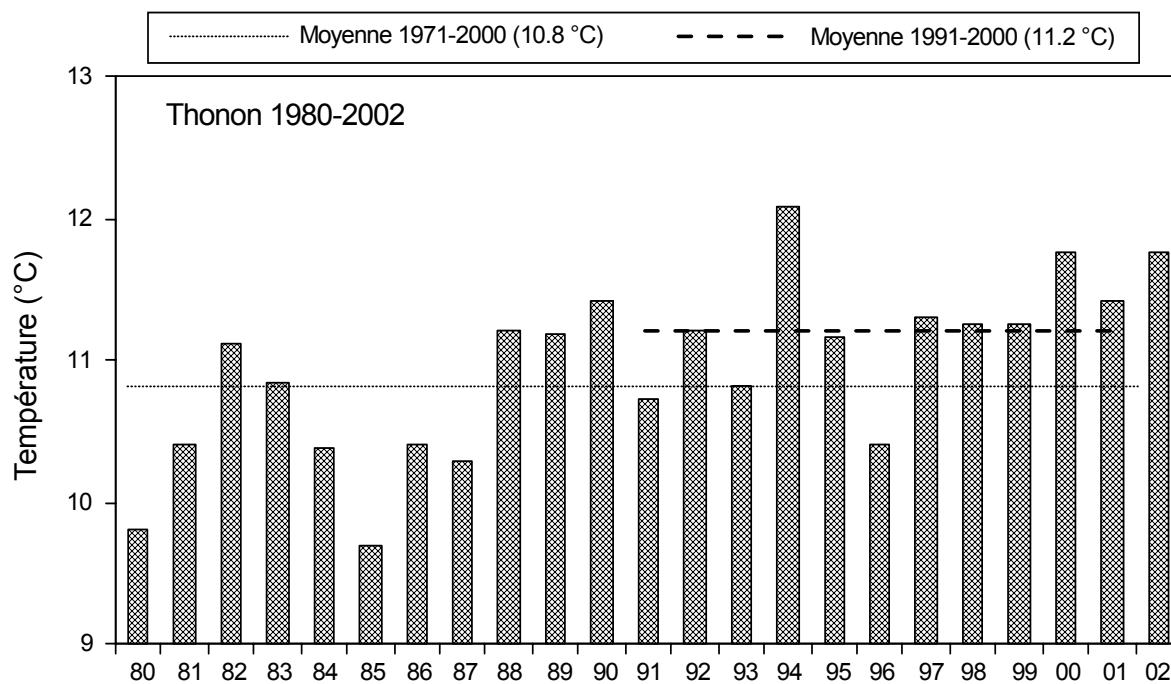


Figure 1.2 : Température moyenne annuelle de l'air à Thonon

Figure 1.2 : Mean annual air temperature at Thonon

### 3. PLUVIOMÉTRIE

L'année 2002 est une année relativement pluvieuse, avec une moyenne interstations de 1210 mm de précipitations. Une nouvelle fois, Thonon avec 1066 mm est la station la moins arrosée, Montreux avec 1374.1 mm celle où les précipitations sont les plus importantes.

Le cumul des précipitations sur Thonon du premier semestre (386.0 mm) représente 36% des pluies tombées tout au long de l'année, 50% de ce cumul étant apporté au mois de mai. Comme 2001, le second semestre commença avec un mois de juillet excédentaire, se prolongea par un trimestre pratiquement normal, fut suivi par un mois de novembre très excédentaire, qui bat de 10 mm le maximum enregistré jusqu'à présent (210.6 mm en 1963).

Tableau 2.1 : Pluviométrie mensuelle à chaque station (mm)

Table 2.1 : Monthly rainfall at each station (mm)

|              | Genève  | Changins | Pully   | Montreux | Thonon  | Thonon<br>1951-2000 |
|--------------|---------|----------|---------|----------|---------|---------------------|
| Janvier      | 44.0    | 47.1     | 41.5    | 29.4     | 37.0    | 61.7                |
| Février      | 79.1    | 90.8     | 76.7    | 77.6     | 43.0    | 57.6                |
| Mars         | 57.2    | 60.7     | 56.1    | 54.4     | 44.0    | 61.7                |
| Avril        | 22.6    | 14.7     | 40.9    | 42.6     | 21.5    | 69.6                |
| Mai          | 149.0   | 161.8    | 191.3   | 202.5    | 170.5   | 89.5                |
| Juin         | 63.8    | 45.8     | 77.1    | 139.6    | 70.0    | 102.3               |
| Juillet      | 117.8   | 79.1     | 115.3   | 129.4    | 123.0   | 74.1                |
| Août         | 89.9    | 76.4     | 105.8   | 159.3    | 77.5    | 97.7                |
| Septembre    | 29.0    | 42.3     | 46.6    | 81.6     | 43.0    | 95.3                |
| Octobre      | 138.0   | 157.3    | 184.7   | 155.2    | 142.0   | 83.4                |
| Novembre     | 295.3   | 280.4    | 259.8   | 207.1    | 221.5   | 83.9                |
| Décembre     | 80.7    | 94.2     | 99.5    | 95.4     | 73.0    | 70.3                |
| Total annuel | 1'166.4 | 1'150.6  | 1'295.3 | 1'374.1  | 1'066.0 | 947.1               |

A Thonon, l'année 2002 se classe au 16<sup>e</sup> rang de la chronologie 1951-2002. C'est la 8<sup>e</sup> fois sur la période 1990-2002 que la pluviométrie dépasse 1 m. Le total de l'année 2002, présente un excédent de 14 % par rapport à la normale 1971-2000 (934 mm). Par contre, si on cumule les précipitations d'octobre 2001 à octobre 2002, on obtient 754 mm, soit une année très sèche (au 45<sup>e</sup> rang de la série).

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                        |        |                              |

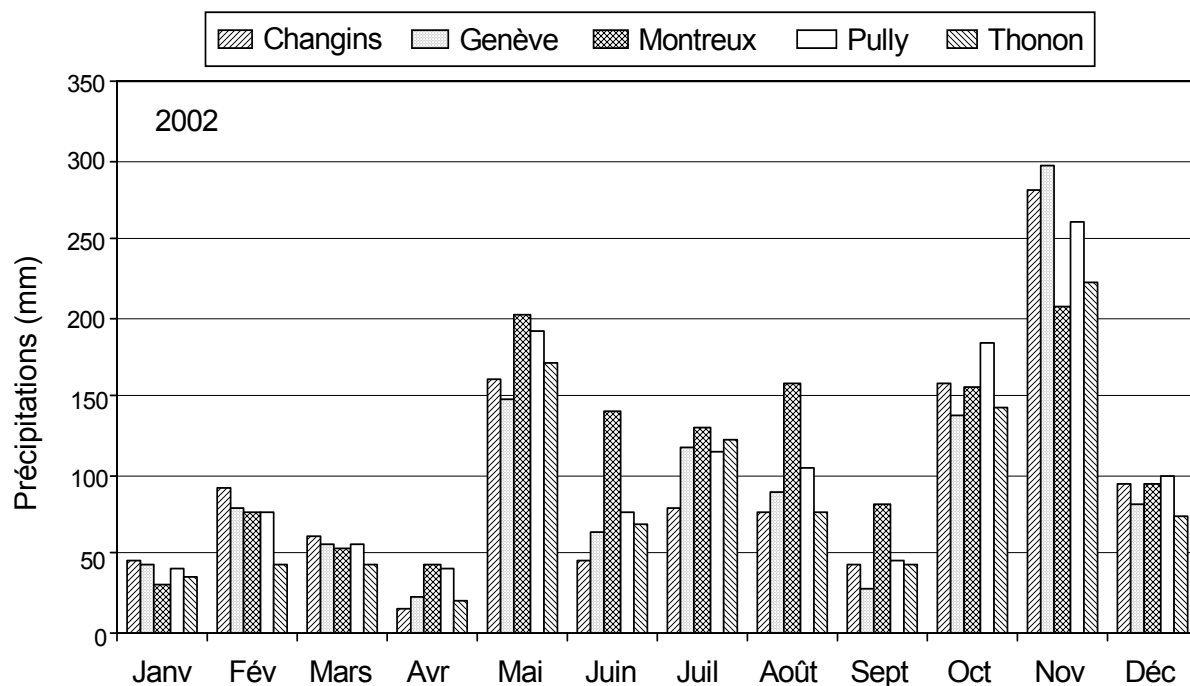


Figure 2.1 : Pluviométrie mensuelle de chaque station en 2002 (mm)

Figure 2.1 : Monthly rainfall at each station in 2002 (mm)

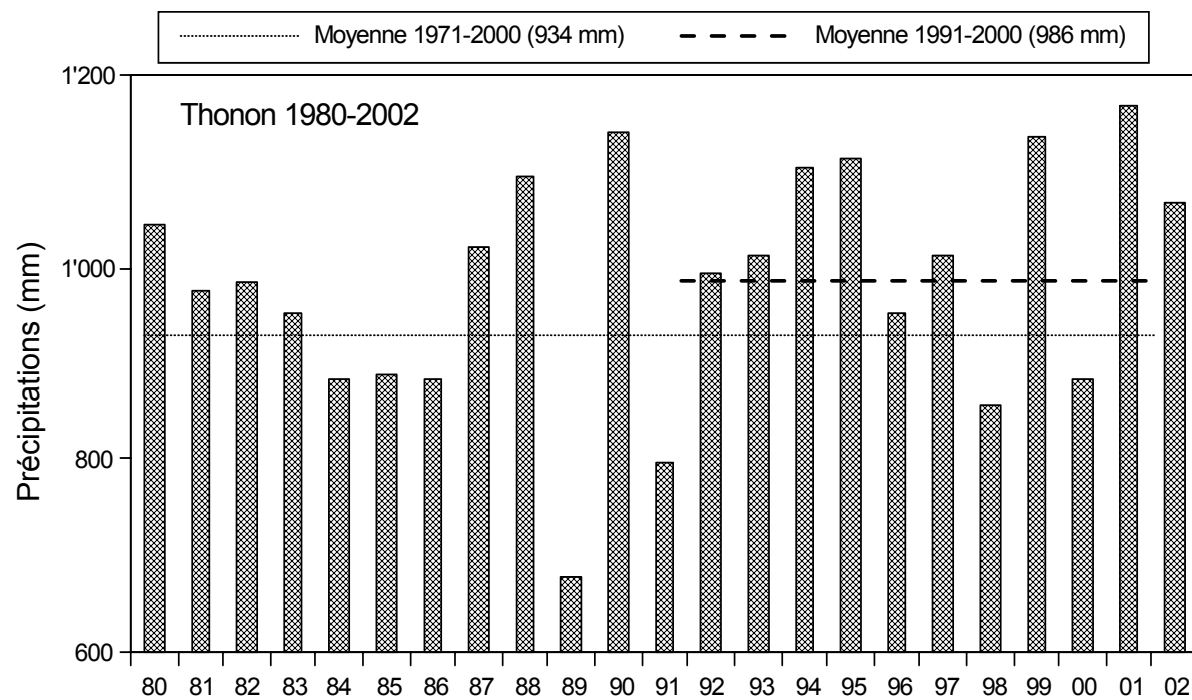


Figure 2.2 : Pluviométrie annuelle à Thonon (mm)

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 2002, avec une moyenne interstations de 1833 h, est une année moyennement ensoleillée.

Tableau 3.1 : Insolation mensuelle à chaque station (h)

Table 3.1 : Monthly insolation at each station (h)

|              | Genève  | Changins | Pully  | Thonon  | Thonon<br>1954-2000 |
|--------------|---------|----------|--------|---------|---------------------|
| Janvier      | 73.4    | 77.5     | 97.0   | 62.2    | 43.6                |
| Février      | 88.0    | 90.2     | 76.7   | 78.5    | 82.1                |
| Mars         | 189.8   | 1'295.4  | 198.8  | 187.4   | 150.7               |
| Avril        | 215.5   | 210.7    | 212.1  | 203.4   | 190.7               |
| Mai          | 184.7   | 176.4    | 177.4  | 198.3   | 223.1               |
| Juin         | 275.5   | 276.0    | 272.6  | 275.4   | 240.3               |
| Juillet      | 248.8   | 246.4    | 240.4  | 256.0   | 268.3               |
| Août         | 199.3   | 201.9    | 209.8  | 209.0   | 234.7               |
| Septembre    | 161.1   | 166.1    | 159.9  | 166.7   | 178.1               |
| Octobre      | 139.4   | 141.5    | 141.7  | 128.9   | 110.6               |
| Novembre     | 44.7    | 39.5     | 38.1   | 47.2    | 54.9                |
| Décembre     | 7.4     | 6.6      | 21.4   | 18.1    | 39.5                |
| Total annuel | 1'827.4 | 1'828.3  | 1'8458 | 1'831.1 | 1'816.9             |

Le premier semestre se caractérise par 70 h d'insolation en plus par rapport à la moyenne 1954-2000, dont 30 h de plus au mois de juin. Le second semestre, lui, a reçu 60 h de moins. Pour 2002, globalement, l'insolation mesurée à Thonon est légèrement supérieure à la normale 1971-2000.

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                    |        |                            |



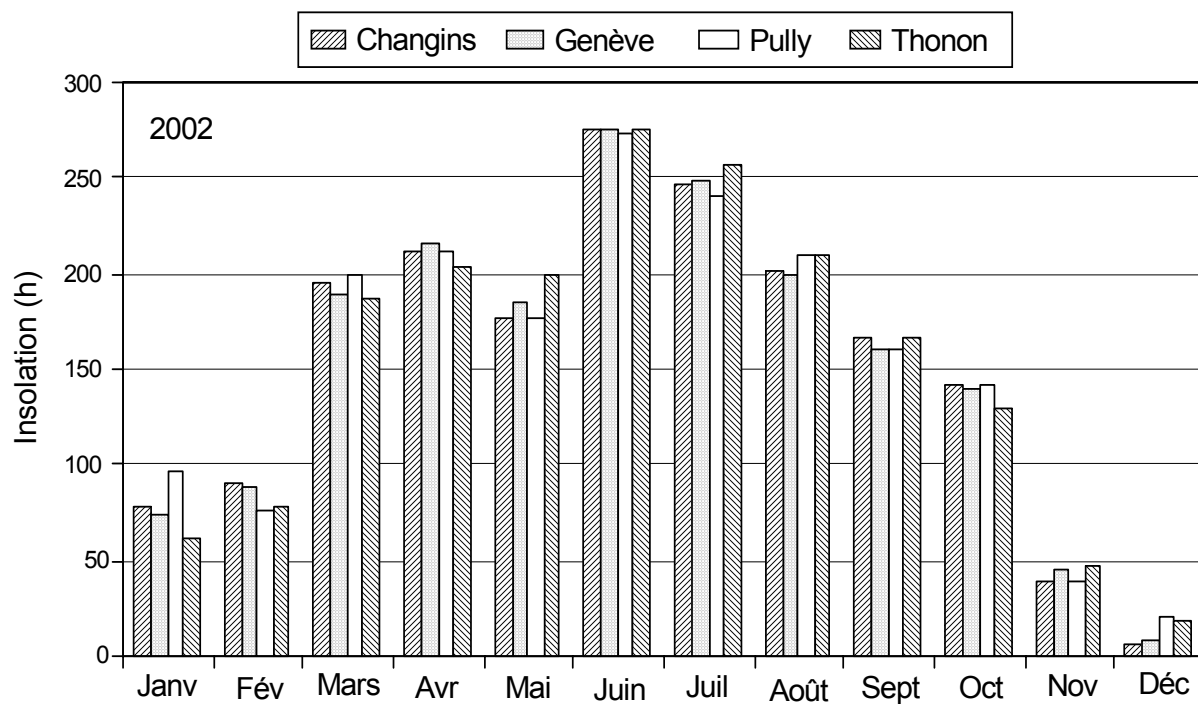


Figure 3.1 : Moyenne mensuelle de l'insolation de chaque station en 2002

Figure 3.1 : Mean monthly insolation at each station in 2002

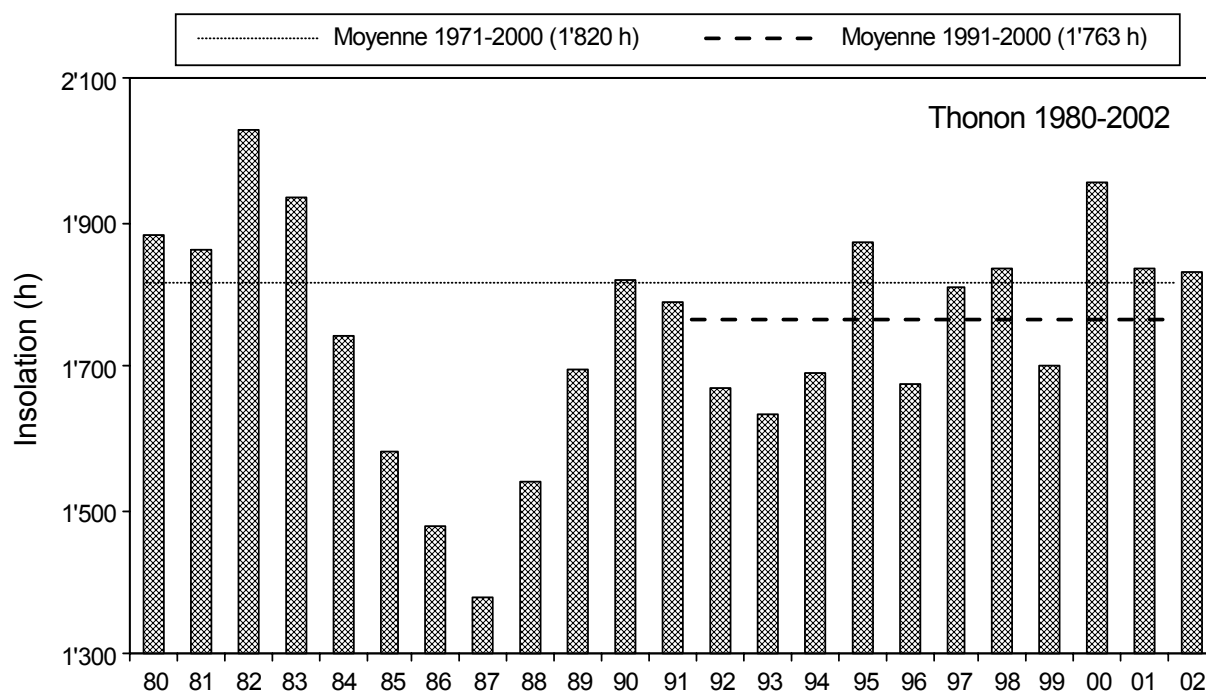


Figure 3.2 : Insolation annuelle à Thonon

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 interstations pour l'année 2002 est de 11.9 MJ/m<sup>2</sup>.j.

Tableau 4.1 : Rayonnement global mensuel à chaque station (MJ/m<sup>2</sup>.j)

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

|                  | Genève | Changins | Pully | Thonon | Thonon<br>1971-2000 |
|------------------|--------|----------|-------|--------|---------------------|
| Janvier          | 4.0    | 3.9      | 4.6   | 3.5    | 3.0                 |
| Février          | 6.3    | 6.2      | 6.0   | 5.7    | 5.6                 |
| Mars             | 12.6   | 12.3     | 12.8  | 12.5   | 10.4                |
| Avril            | 16.7   | 15.8     | 16.8  | 17.2   | 15.1                |
| Mai              | 16.5   | 16.2     | 16.8  | 17.1   | 18.3                |
| Juin             | 22.5   | 22.7     | 22.9  | 22.9   | 20.4                |
| Juillet          | 20.1   | 20.2     | 20.6  | 20.8   | 21.0                |
| Août             | 16.4   | 16.3     | 16.6  | 16.7   | 18.1                |
| Septembre        | 12.9   | 13.1     | 13.3  | 12.7   | 13.0                |
| Octobre          | 8.4    | 8.3      | 8.3   | 8.0    | 7.0                 |
| Novembre         | 3.7    | 3.5      | 4.0   | 3.4    | 3.6                 |
| Décembre         | 1.8    | 2.0      | 2.4   | 1.9    | 2.5                 |
| Moyenne annuelle | 11.8   | 11.7     | 12.1  | 11.9   | 11.5                |

Avec un rayonnement global annuel de 4'344.1 MJ/m<sup>2</sup>, l'année 2002 est supérieure à la moyenne de la dernière décennie (4'222 MJ/m<sup>2</sup>).

Tableau 4.2 : Rayonnement global annuel à Thonon (MJ/m<sup>2</sup>)

Table 4.2 : Global annual irradiation at Thonon (MJ/m<sup>2</sup>)

| Années | Rayonnement global<br>total annuel | Années | Rayonnement global<br>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                            |        |                                    |

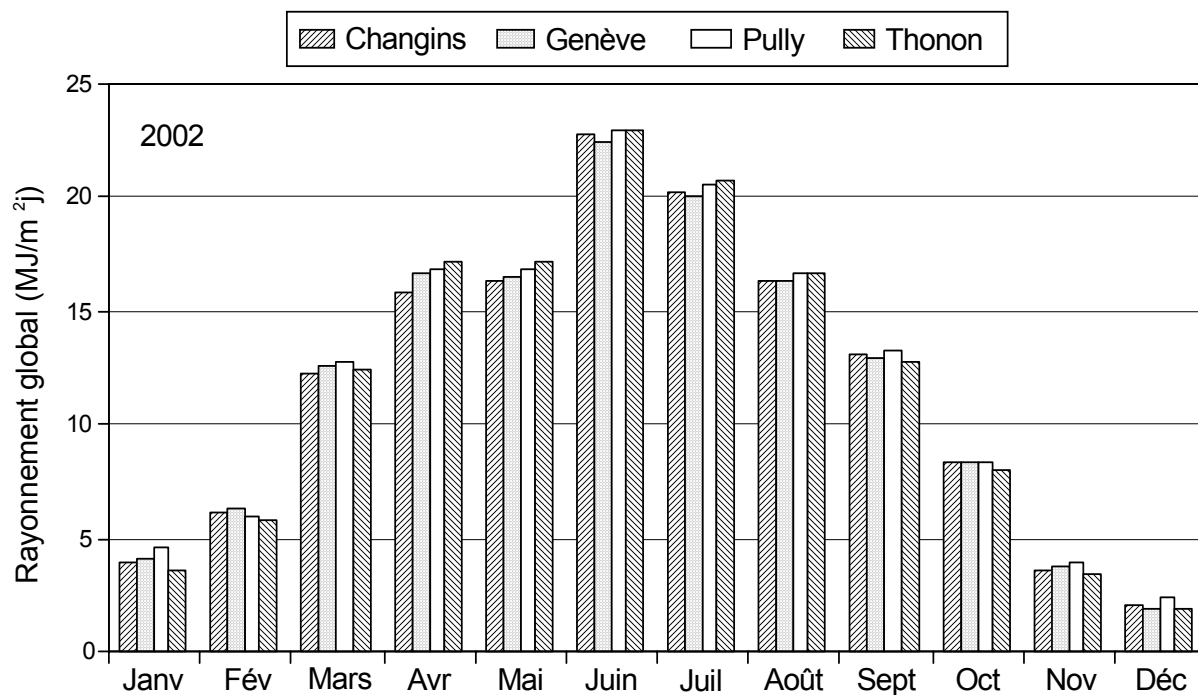


Figure. 4.1 : Moyenne mensuelle du rayonnement global de chaque station en 2002

Figure.4.1 : Mean monthly global irradiation at station in 2002

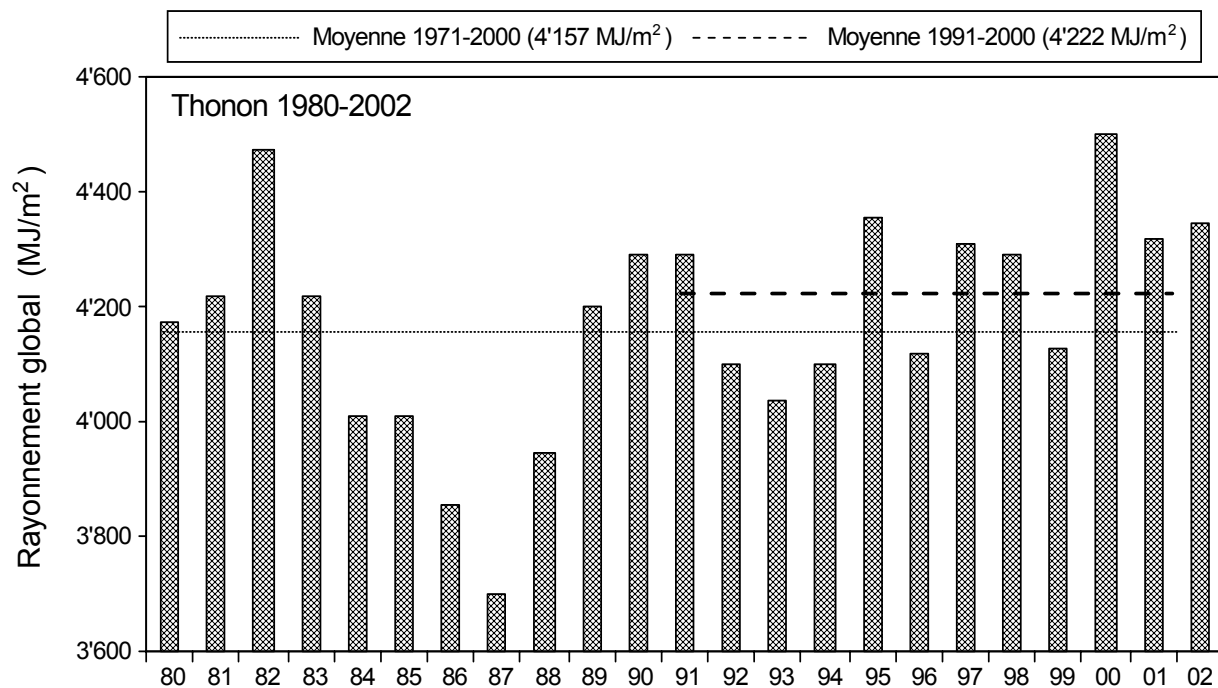


Figure 4.2 : Rayonnement global annuel à Thonon

Figure 4.2 : Global annual irradiation at Thonon

## 6. VENT

Pour l'année 2002 à Changins, station de référence, la moyenne est inférieure à celle de la période 1981-2000. Comme 2001, le mois de février fut venteux. Les mois de janvier (1 journée avec vent > 5 m/s) et de novembre (aucune journée) furent calmes.

Tableau 5.1 : Moyenne mensuelle de la vitesse du vent à 13 heures (m/s)

Table 5.1 : Mean monthly windspeed at 1 p.m. (m/s)

|                  | Genève | Changins | Pully | Montreux | Thonon | Changins<br>1981-2000 |
|------------------|--------|----------|-------|----------|--------|-----------------------|
| Janvier          | 1.8    | 1.6      | 1.0   | 1.2      | 1.2    | 2.4                   |
| Février          | 3.6    | 3.6      | 1.5   | 1.1      | 2.2    | 2.8                   |
| Mars             | 3.4    | 2.8      | 1.4   | 1.5      | 2.0    | 3.4                   |
| Avril            | 3.9    | 2.8      | 1.4   | 1.6      | 1.8    | 3.5                   |
| Mai              | 2.2    | 2.1      | 1.2   | 1.5      | 1.3    | 3.0                   |
| Juin             | 2.8    | 2.3      | 1.3   | 1.3      | 1.6    | 3.0                   |
| Juillet          | 3.4    | 2.8      | 1.7   | 1.3      | 1.9    | 2.9                   |
| Août             | 2.6    | 2.3      | 1.2   | 1.4      | 1.3    | 2.7                   |
| Septembre        | 3.5    | 3.0      | 1.7   | 1.4      | 2.5    | 2.7                   |
| Octobre          | 2.9    | 2.8      | 1.4   | 1.2      | 1.8    | 2.5                   |
| Novembre         | 2.4    | 1.9      | 1.1   | 1.1      | 1.3    | 2.5                   |
| Décembre         | 2.3    | 2.5      | 1.2   | 1.1      | 2.4    | 2.6                   |
| Moyenne annuelle | 2.9    | 2.6      | 1.4   | 1.3      | 1.8    | 2.8                   |

Pour l'année 2002 à Changins, 89 % des vents sont contenus dans le demi-cercle E-W (rappel : la base de calcul pour la rose des vents est le jour). Au demeurant, le nombre des vents forts (> 5 m/s) enregistrés à 13 heures, à Changins, en 2002 est de 36 jours, soit 22 jours de moins qu'en 2001. Sur ces 36 jours, 21 le furent lors du premier semestre.

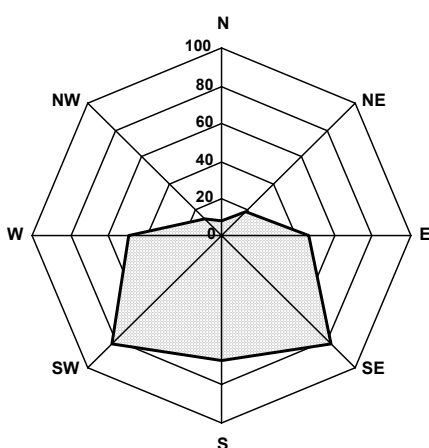


Figure 5.1 : Direction des vents à Changins, à 13 heures  
(échelle : nombre d'occurrences)

Figure 5.1 : Wind direction at Changins at 1 p.m.  
(scale: number of occurrences)

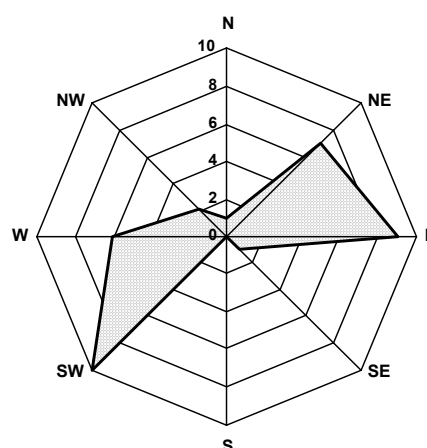


Figure 5.2 : Direction des vents forts (> 5 m/s) à Changins, à 13 heures  
(échelle : nombre d'occurrences)

Figure 5.2 : Direction of strong winds (> 5 m/s) at Changins at 1 p.m.  
(scale: number of occurrences)

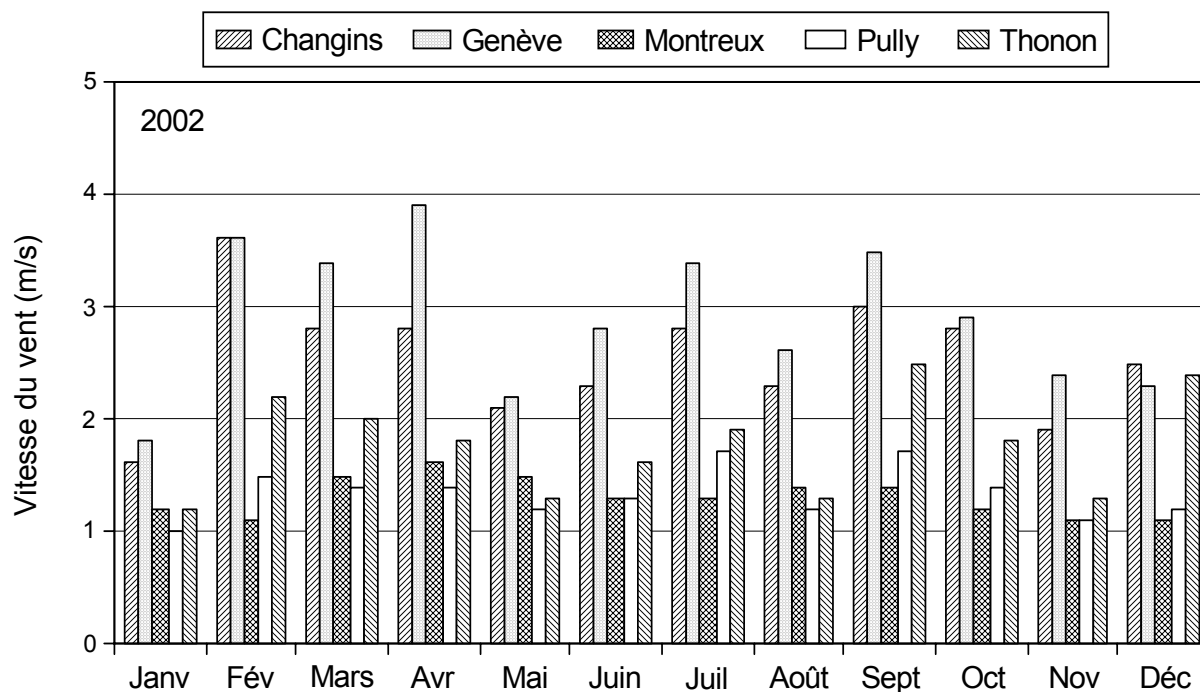


Figure 5.3 : Moyenne mensuelle de la vitesse de vent de chaque station à 13 heures en 2001

Figure 5.3 : Mean monthly wind speed at each station at 1 p.m. in 2001

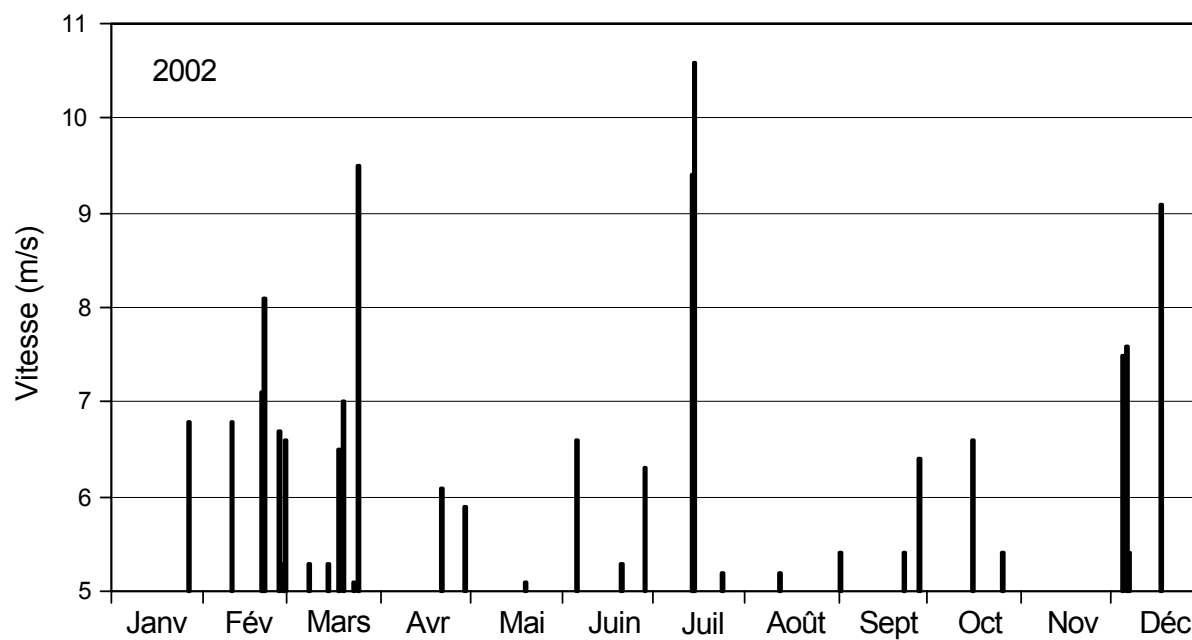


Figure 5.4 : Répartition annuelle (en 2001) des vents forts (> 5 m/s) à Changins à 13 heures

Figure 5.4 : Annual distribution (in 2001) of strong winds (> 5 m/s) at Changins at 1 p.m.

## 7. CONCLUSIONS

L'année climatique 2002 sur les rives du Léman est encore une fois considérée comme une année chaude. Avec 11.5°C de moyenne interstations, c'est la 8<sup>e</sup> fois depuis 1990 que celle-ci dépasse 11.0°C, et elle est en augmentation de plus de 2.0°C depuis 1978. Les températures minimales en augmentation de 1.5°C depuis 1951 et le nombre de jours de gel (- 33 jours) sur la même période caractérisent cette douceur. Avec 1'210 mm de lame d'eau moyenne, dont 406 mm sur octobre/novembre, 2002 fut une année relativement pluvieuse. Sur Thonon la période octobre 2001-octobre 2002 fut par contre sèche (754 mm). L'insolation et le rayonnement global sont légèrement supérieurs à leurs moyennes. L'année 2002 fut moyennement venteuse avec des orientations contenues dans le demi-cercle W-E. Les vents forts (> 5 m/s) furent moins nombreux qu'en 2001.

## 8. RELATION CLIMAT - LAC

L'exploitation des données physico-chimiques n'a pas permis de les mettre en relation avec le climat (meilleure corrélation : 0.14 pour le calcium, avec la température moyenne annuelle à Thonon). Par contre comme le signale ANNEVILLE (2001) le climat influence la date d'apparition de la thermocline, qui elle est en relation avec la date de début du frai du gardon, comme le suggèrent GILLET & QUÉTIN (2003) (figure 6).

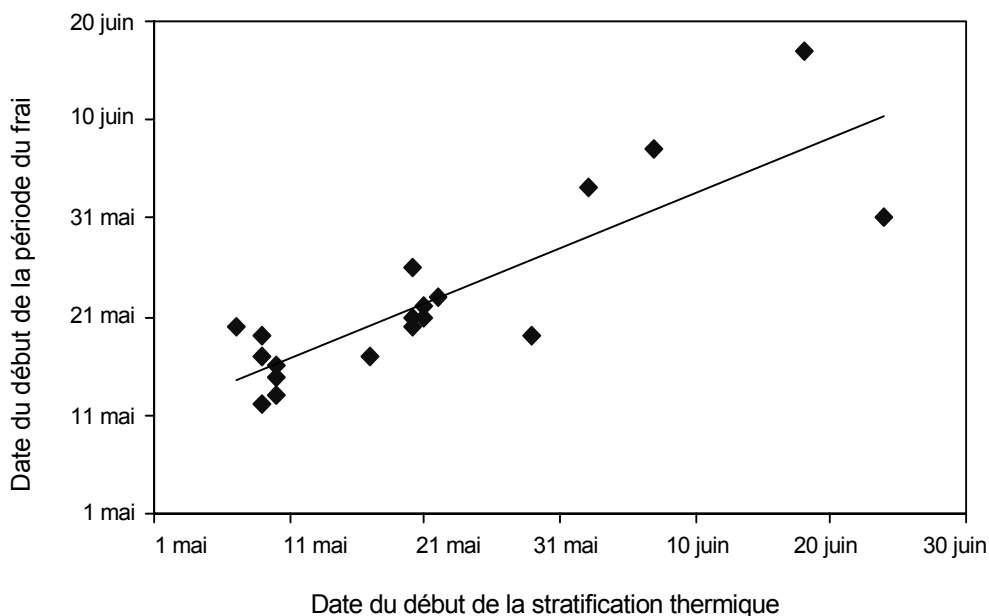


Figure 6 : Relation entre la date du frai du gardon et la date de début de stratification thermique

Figure 6 : Relationship between the date of the spawning of the roach and the date when temperature stratification began

## BIBLIOGRAPHIE

ANNEVILLE, O. (2001) : Diagnostic sur l'évolution de l'état de santé écologique du Léman par l'analyse des séries chronologiques du phytoplancton. Thèse Uni. C. Bernard- Lyon I, 253 p + annexes.

GILLET, C. et QUÉTIN, P. (2003) : Effect of temperature changes on reproductive cycle of roach (*Rutilus rutilus* L.) in lake Geneva from 1983 to 2001, soumis à Global Change Biology.

MÉTÉO - FRANCE (2002) : Bulletin climatologie mensuel de la Haute-Savoie, année 2002, 12 numéros, 6 p.

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

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

Campagne 2002

PAR

**Jérôme LAZZAROTTO**

STATION D'HYDROBIOLOGIE LACUSTRE (INRA-UMR/CARRETEL), 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 2002 se caractérise par une activité photosynthétique continue toute l'année et un brassage hivernal faible.*

*L'hiver 2001-2002 n'a pas fourni de brassage permettant de réoxygéner les eaux profondes. On peut estimer que la circulation hivernale des eaux a atteint 120 mètres en mars 2002.*

*La concentration en oxygène des eaux du fond du Grand Lac atteint 4.31 mg O<sub>2</sub>/L au maximum au mois de juin et 1.91 mg O<sub>2</sub>/L au minimum à mi-octobre. Dix mois sur douze, la concentration en oxygène dissous est inférieure à 4 mg O<sub>2</sub>/L dans les eaux du fond.*

*La température des eaux du fond continue d'augmenter. Depuis le dernier brassage en 1986, il y a un accroissement de 1°C. En 2002 on observe 5.94°C en moyenne contre 5.86°C en 2001.*

*La période des "eaux claires", en liaison avec le développement du zooplancton, est peu marquée, pour cette période la transparence est très faible relativement aux années précédentes.*

*Le phosphore dissous est consommé en quasi-totalité dans les couches superficielles à partir de mi-mars jusqu'en décembre.*

*La concentration moyenne en phosphore total du lac est de 34.0 µgP/L en 2002, il n'y a pas d'évolution significative par rapport à 2001. Pour les stocks de phosphore total du Grand Lac, on observe une valeur de 2'920 tonnes de phosphore en moyenne pour l'année 2002.*

*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.*

*La concentration en chlorure continue d'augmenter pour atteindre 7.85 mg Cl/L, soit 3.3 % de plus qu'en 2001.*

*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

*2002 was characterized by continuous photosynthetic activity all year round, and by low winter churning.*

*The winter of 2001-2002 did not produce enough churning to reoxygenate the water at the bottom of the lake. Water circulation during the winter can be estimated to have reached 120 meters by March 2002.*

*The oxygen concentration in the water at the bottom of the Great Lake reached a peak of 4.31 mg O<sub>2</sub>/L in June and a minimum of 1.91 mg O<sub>2</sub>/L in mid-October. For 10 months out of 12, the oxygen concentration was below 4 mg O<sub>2</sub>/L in the water at the bottom.*

*The temperature of the water at the bottom of the lake continued to increase. Since the last heavy churning in 1986, the mean temperature has increased by 1°C. In 2002 the mean temperature was 5.94°C, versus 5.86°C in 2001.*

*The "clear water" period, linked to the development of the zooplankton, was not very marked, and the transparency during this period was much lower than in previous years.*

*The dissolved phosphorus had virtually all been consumed in the surface layers from mid March to December.*

*The mean total phosphorus concentration of the lake was 34.0 µgP/L in 2002; there had been no significant change since 2001. The mean total phosphorus content of the Grand Lac for 2002 was 2'920 tonnes.*

*The phosphorus content values for recent years display an asymptotic pattern; this means that it is important to continue and even step up efforts to tackle this both at source and by means of purification.*

*The nitric nitrogen and total nitrogen remained the same as in previous years.*

*The chloride concentration continued to increase, and reached 7.85 mg Cl/L, i.e. 3.3 % up on 2001.*

*The levels of heavy metals in the waters of lake Geneva remained low, and complied with the requirements for drinking water and for water for fish life. Traces of triazine herbicides and metolachlor were still detectable in the water of the lake. Although the concentrations remain low, and probably have no toxic impact on the ecosystem, it should be noted that their presence is undesirable, and any measures intended to reduce their introduction are to 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 :

0 - 2.5 - 5 - 7.5 - 10 - 15 - 20 - 25\* - 30 - 35\* - 50 - 100 - 150 - 200 - 250 - 275 - 290 - 300 - 305 et 309 m.

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. Les profondeurs 25 et 35 m (\*) sont prélevées de mars à octobre. Il y a eu 21 campagnes de prélèvements en 2002.

Les prélèvements sont effectués, selon des techniques uniformisées, par la Station d'Hydrobiologie Lacustre (INRA-UMR/CARTEL-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 2002, les résultats analytiques sont concordants (STRAWCZYNSKI et PASQUINI, 2003).

De plus, lors de chaque campagne, des profils verticaux (mesures à chaque mètre) de température, oxygène dissous, conductivité électrique, pH, turbidité et chlorophylle *in vivo* 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 : fer, 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).



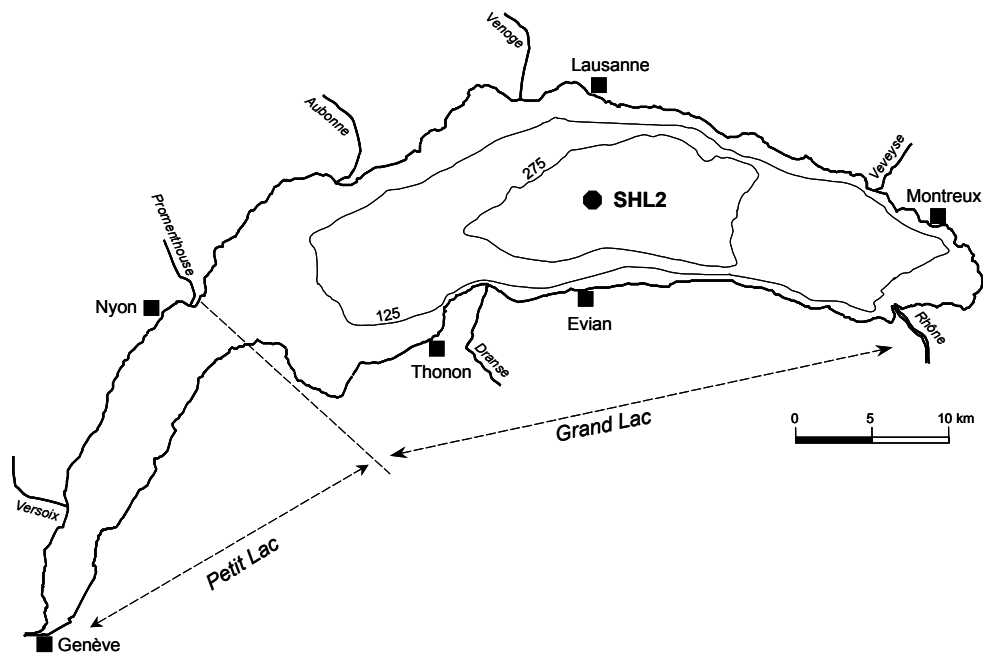


Figure 1 : Situation du point de prélèvement

Figure 1 : Location of the sampling station

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

L'hiver 2001-2002 a été froid mais sans vents suffisants pour homogénéiser la colonne d'eau; dès le mois de février, les températures ont été élevées pour la saison et les vents faibles. Cela a entraîné un mauvais brassage pour l'année 2002.

Cependant, on constate une réoxygénation de la colonne d'eau continue jusqu'en fin juin 2002 où la concentration en oxygène dissous atteint 4.31 mgO<sub>2</sub>/L (moins importante qu'en 2001 : 4.55 mgO<sub>2</sub>/L).

La température des eaux du fond du Grand Lac continue d'augmenter selon la tendance observée ces dernières années.

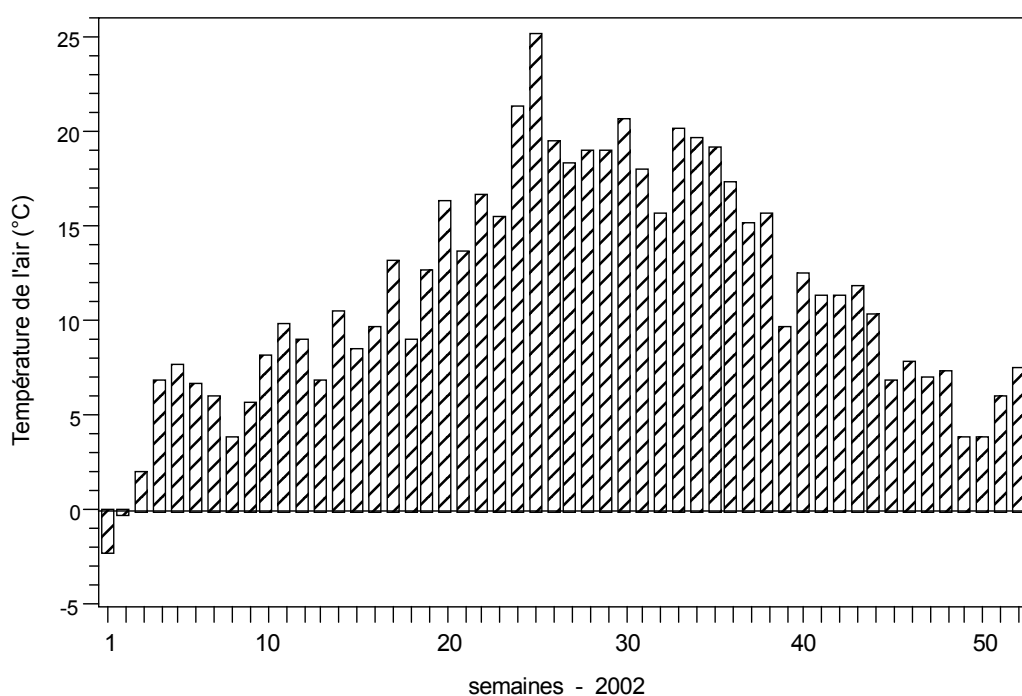


Figure 2 a : Température moyenne hebdomadaire de l'air à la station de Pully en 2002

Figure 2 a : Mean weekly air temperature at the Pully station in 2002

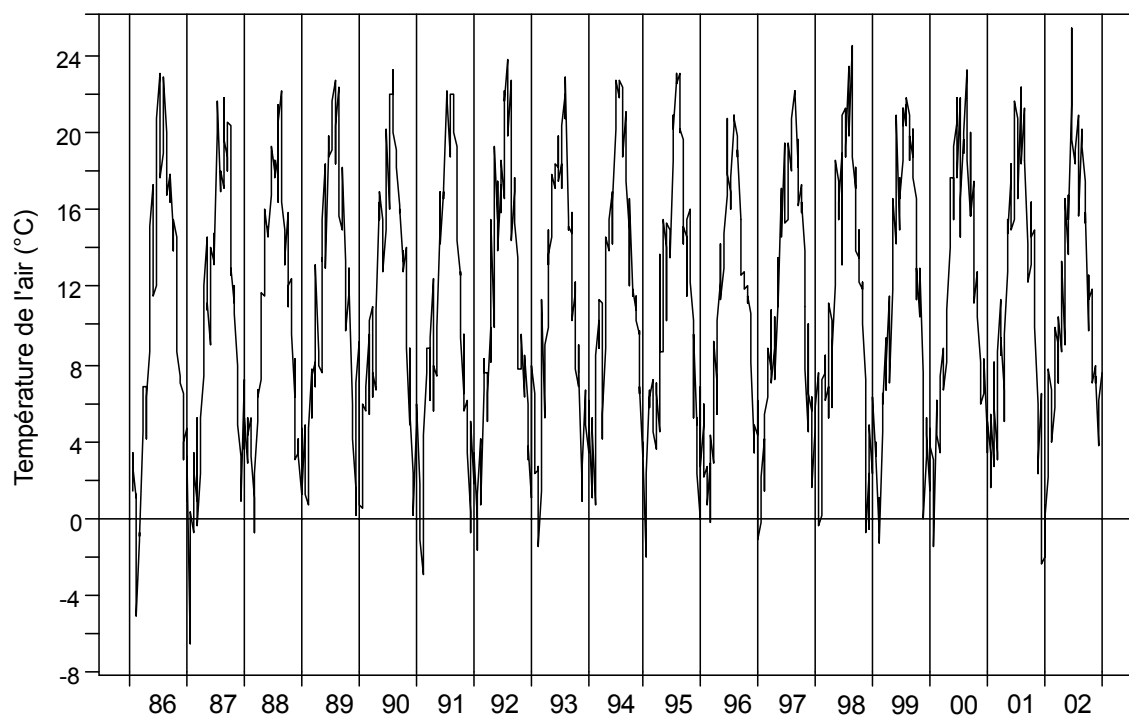


Figure 2 b : Température moyenne hebdomadaire de l'air à la station de Pully de 1986 à 2002

Figure 2 b : Mean weekly air temperature at the Pully station from 1986 to 2002

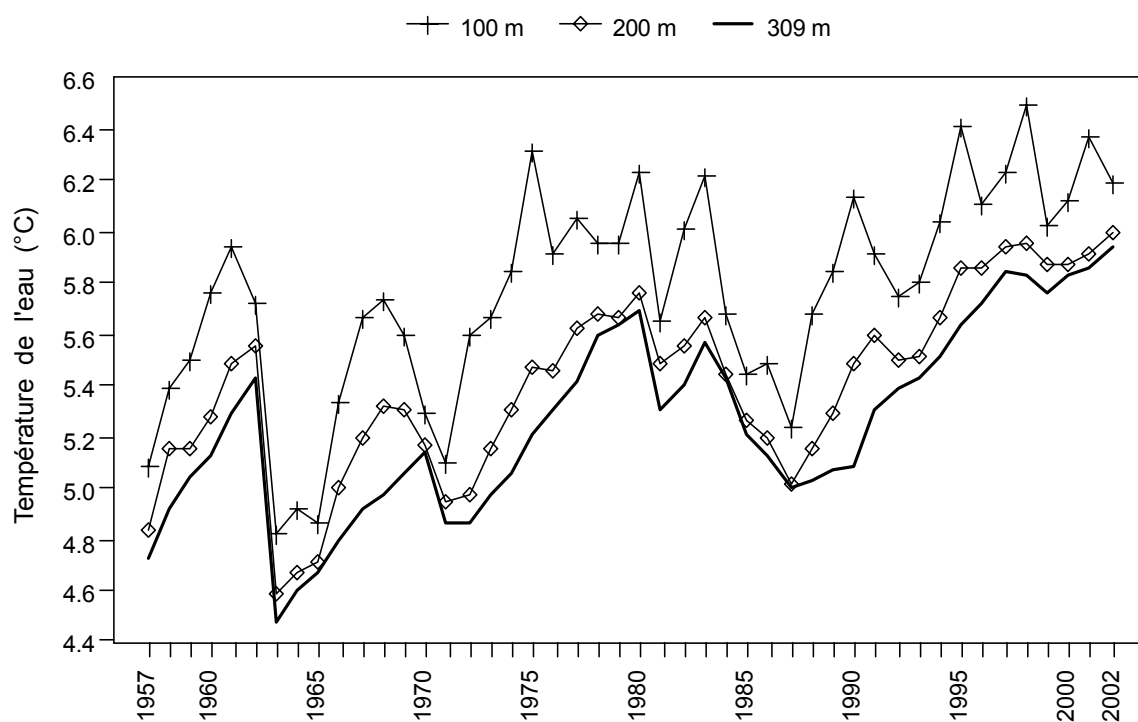


Figure 3 : Evolution de la température moyenne annuelle de l'eau à 100, 200 et 309 mètres de profondeur, Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 3 : 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 2002

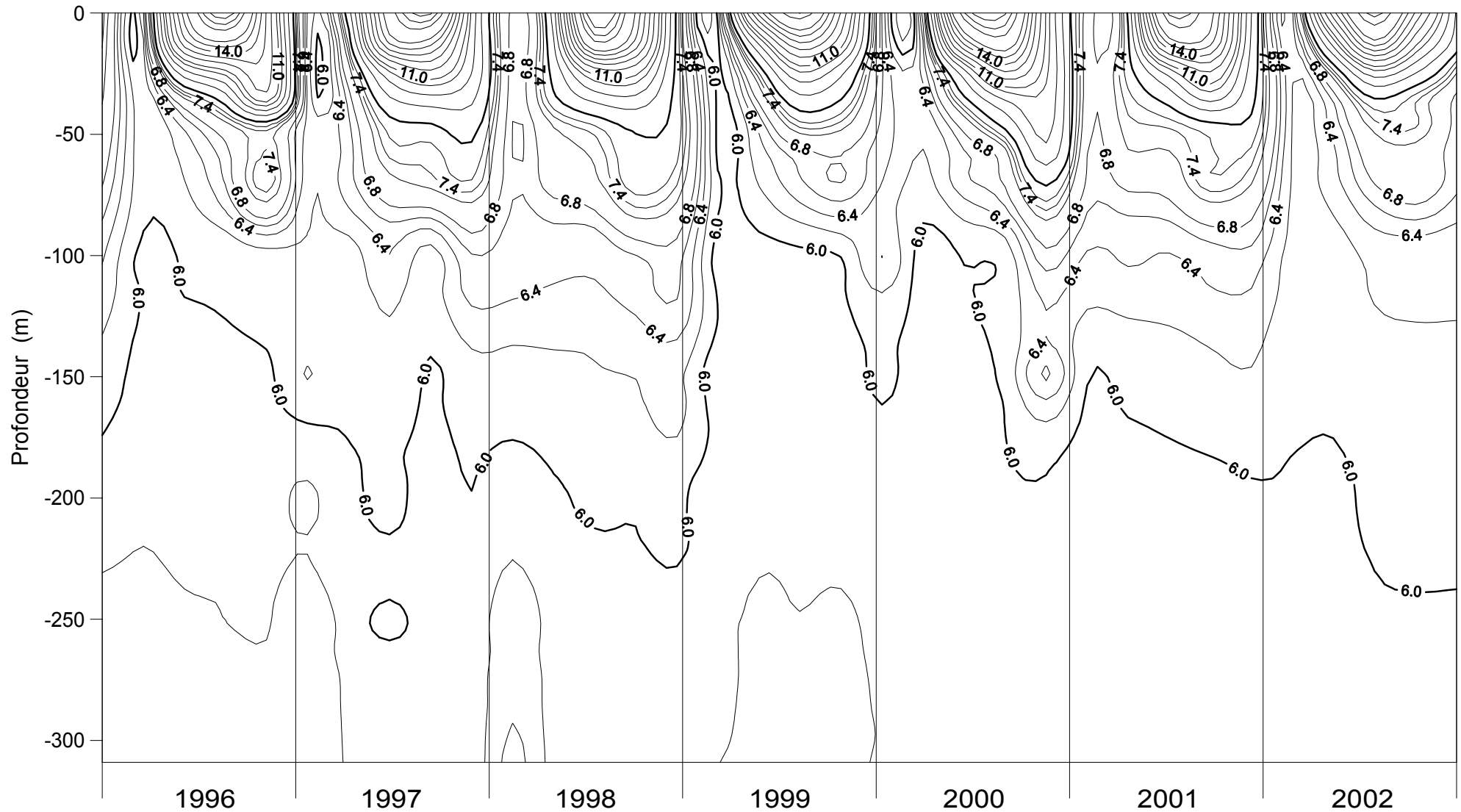


Figure 4 : Température des eaux du Léman (Grand Lac - SHL2) en fonction de la profondeur (N.B. : suivant le nombre d'années prises en considération, de très légères modifications de présentation graphique peuvent apparaître (différence de lissage des courbes d'isovaleurs))

Figure 4 : 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))

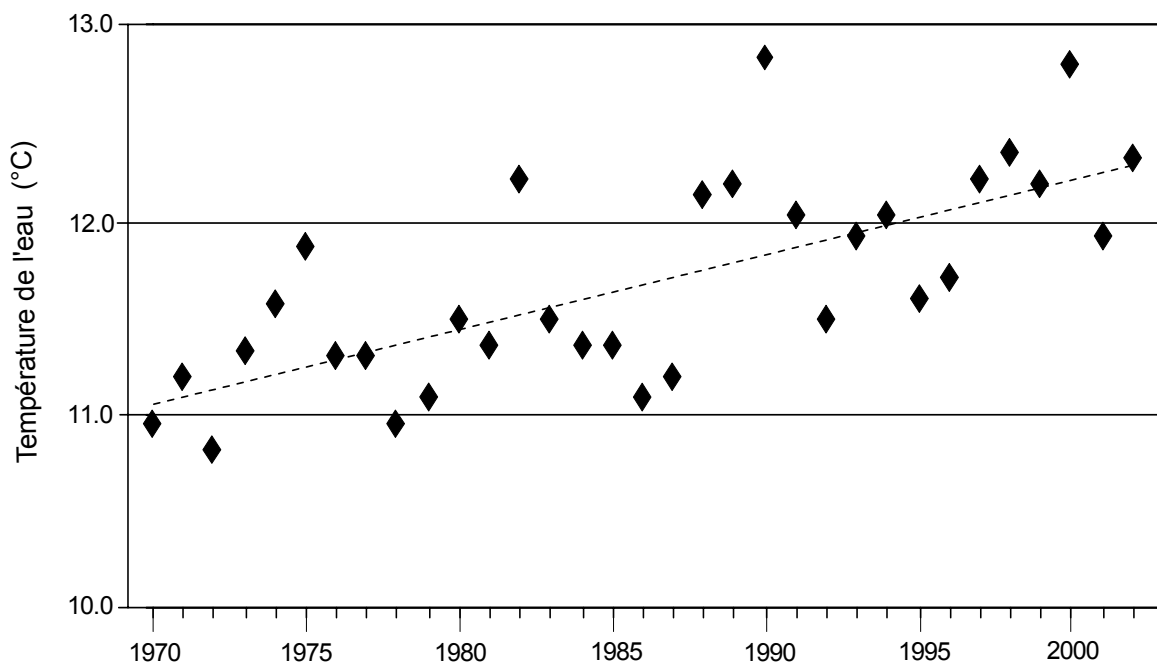


Figure 5 : Evolution de la température moyenne annuelle de l'eau du Léman à 5 mètres de profondeur - Grand Lac (SHL2)

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

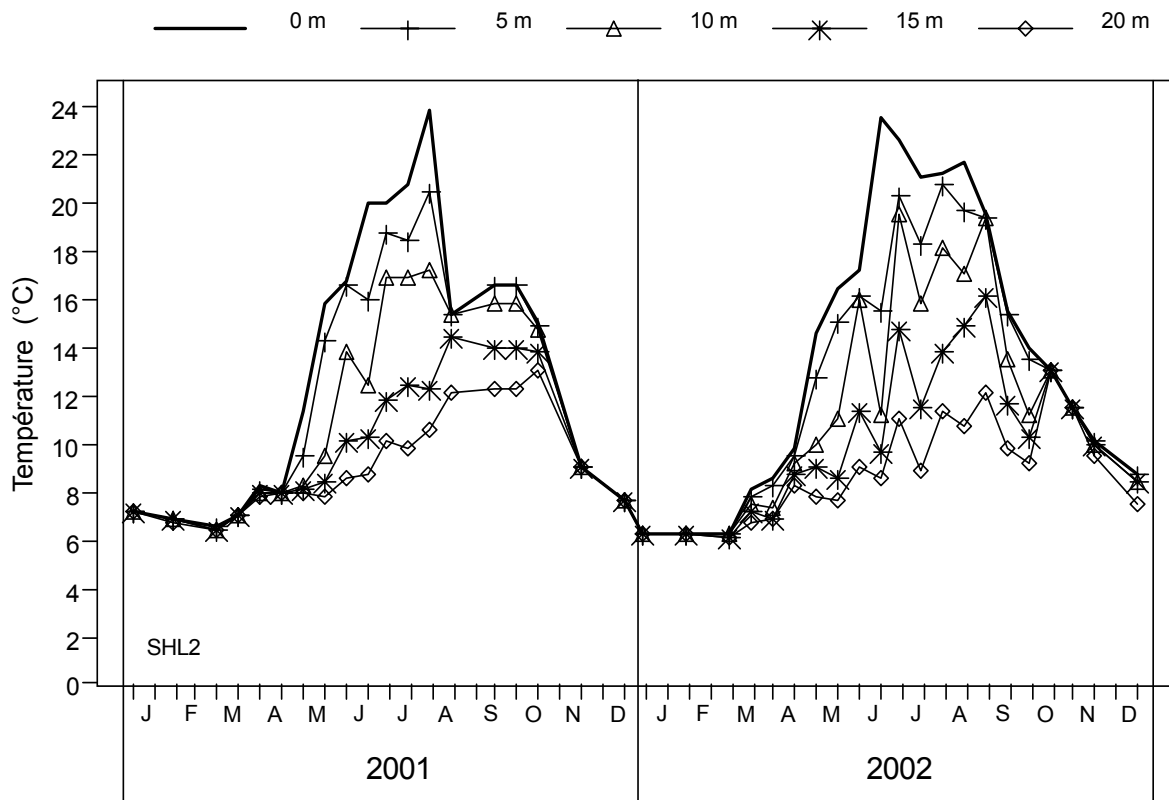


Figure 6 : Température de l'eau des couches superficielles (0, 5, 10, 15 et 20 m) Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 6 : 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 faible brassage hivernal du début de l'année 2002 ne permet qu'un renouvellement partiel des nutriments en provenance des couches profondes. La concentration en orthophosphates est remontée à 20  $\mu\text{gP/L}$  début mars 2002 dans les couches superficielles contre 24  $\mu\text{gP/L}$  en mars 2001 (figures 7 et 8).

Parallèlement, l'azote nitrique est remonté à 590  $\mu\text{gN/L}$  (figure 9) et la silice dissoute à 1.37  $\text{mg/L}$  (figure 10) dans les couches superficielles au mois de mars.

La transparence maximale de 13.0 m observée le 5 février 2002 est élevée comparée à l'année précédente (8.9 m en février 2001) (figure 11).

L'activité photosynthétique a fortement démarré à partir du mois de mars suivant le réchauffement des eaux superficielles et s'est maintenue de façon soutenue toute l'année (figure 9). Cette augmentation de l'activité photosynthétique commence plus tôt qu'en 2001.

Cette activité est accompagnée d'une chute brutale des concentrations en nutriments ( $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{NO}_3^-$  : figures 7 à 10) et de faibles valeurs de transparence (inférieure à 5 mètres : figure 11) qui correspondent à la poussée de diatomées.

Cette activité induit aussi une augmentation de l'oxygène dissous dans les couches superficielles, cette augmentation est plus importante que l'année précédente (figure 12).

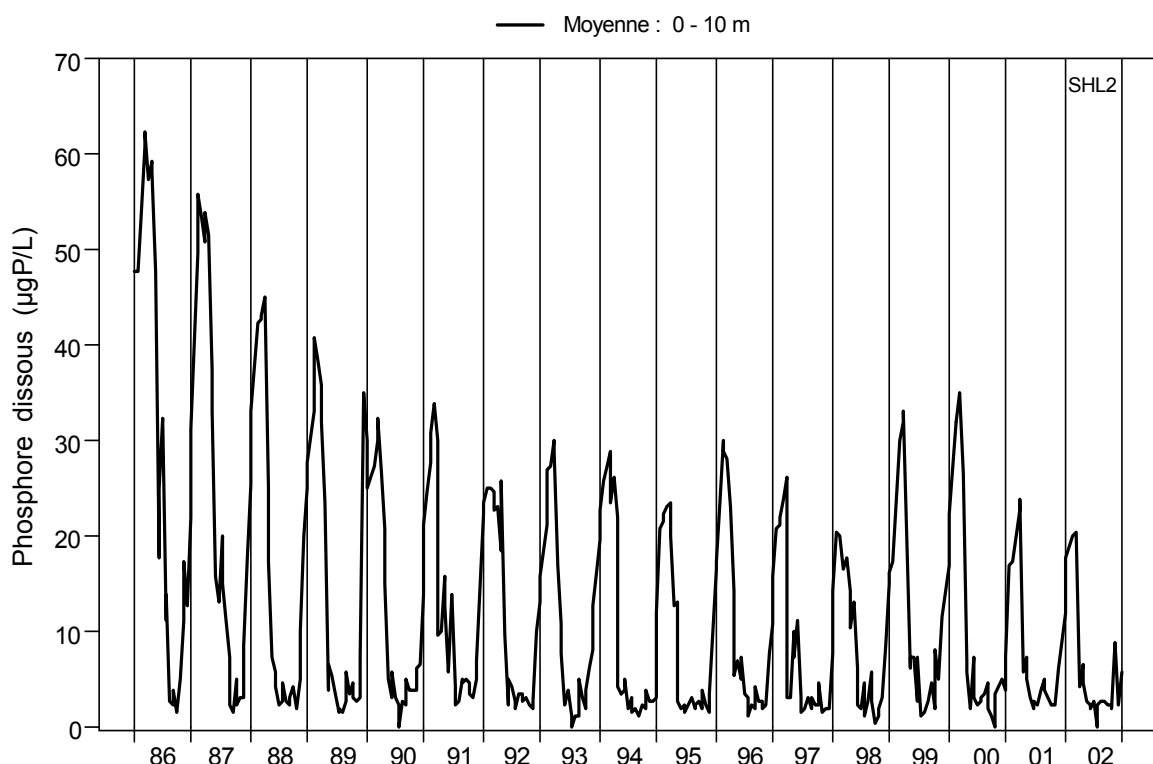


Figure 7 : Concentration en phosphore dissous ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) des eaux de la couche superficielle (moyenne 0-10 m), Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 7 : Concentration of dissolved phosphorus ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) in the water in the surface layers (mean 0-10 m), lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

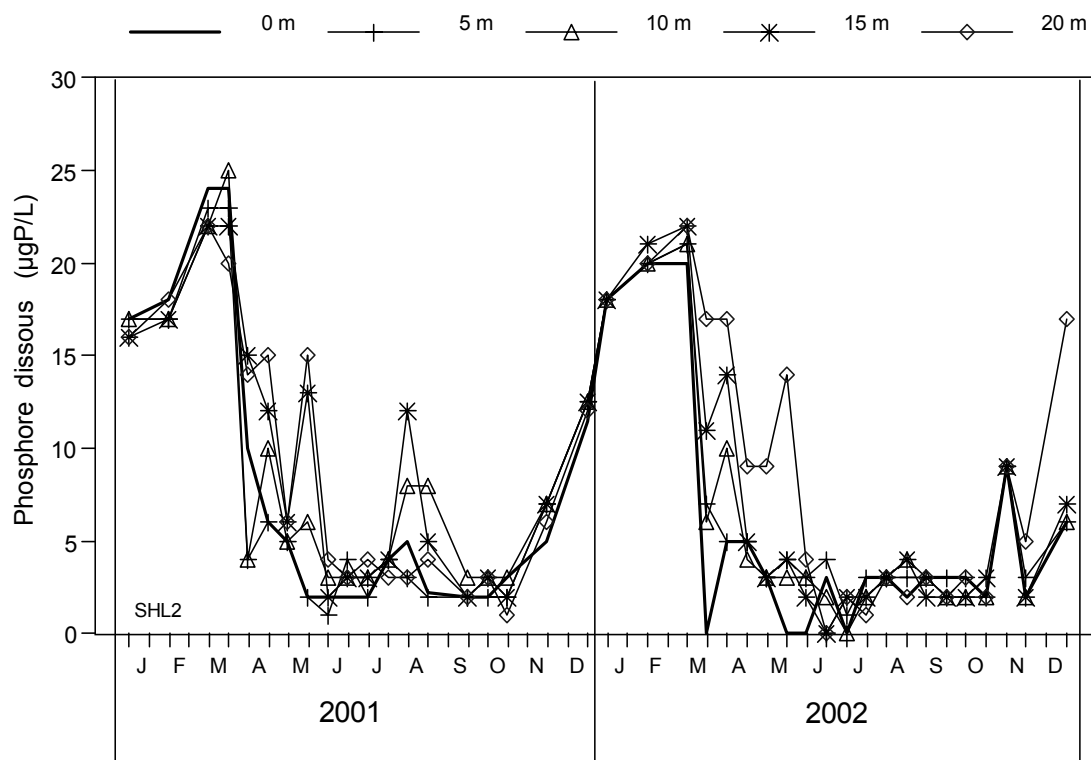


Figure 8 : Concentration en phosphore dissous ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) des eaux des couches superficielles (0, 5, 10, 15 et 20 m), Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 8 : Concentration of dissolved phosphorus ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) in the water in the surface layers (0, 5, 10, 15 and 20 m), lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

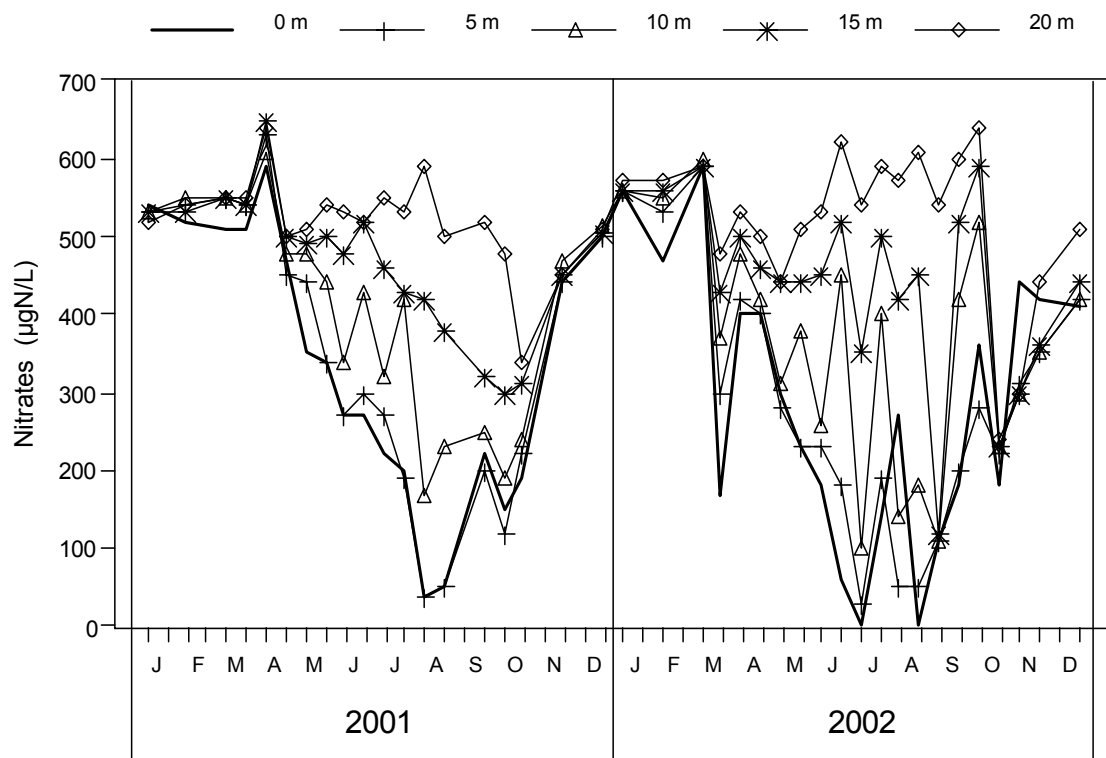


Figure 9 : Concentration en nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) des eaux des couches superficielles (0, 5, 10, 15 et 20 m), Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 9 : Concentration of nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) in the water in the surface layers (0, 5, 10, 15 and 20 m), lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

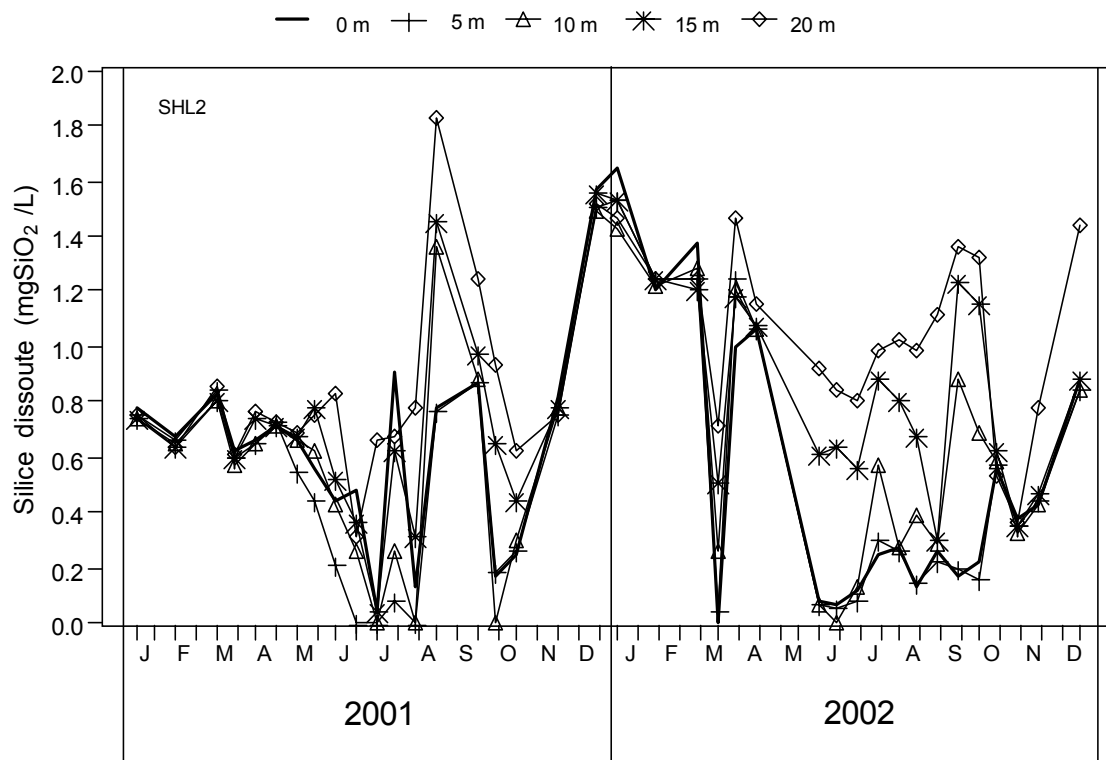


Figure 10 : Concentration en silice dissoute ( $\text{SiO}_2$ ) des eaux des couches superficielles (0, 5, 10, 15 et 20 m), Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 10 : Concentration of dissolved silica ( $\text{SiO}_2$ ) in the water in the surface layers (0, 5, 10, 15 and 20 m), lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

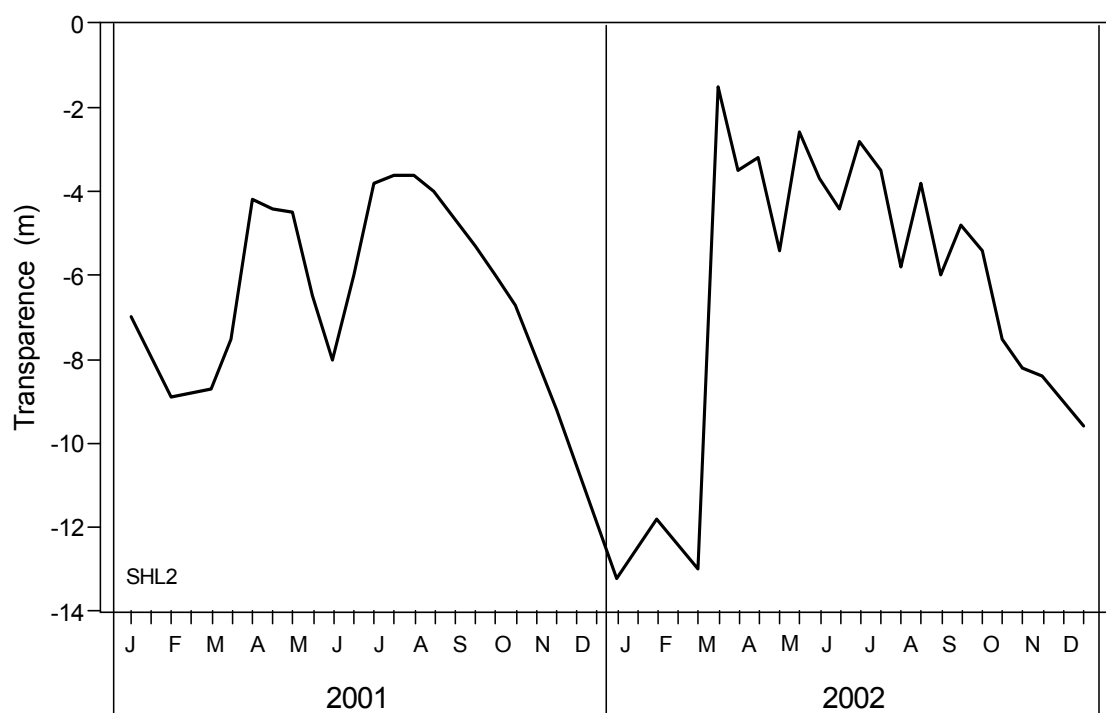


Figure 11 : Transparence mesurée avec le disque de Secchi, Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 11 : Transparency measured using a Secchi disk, lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

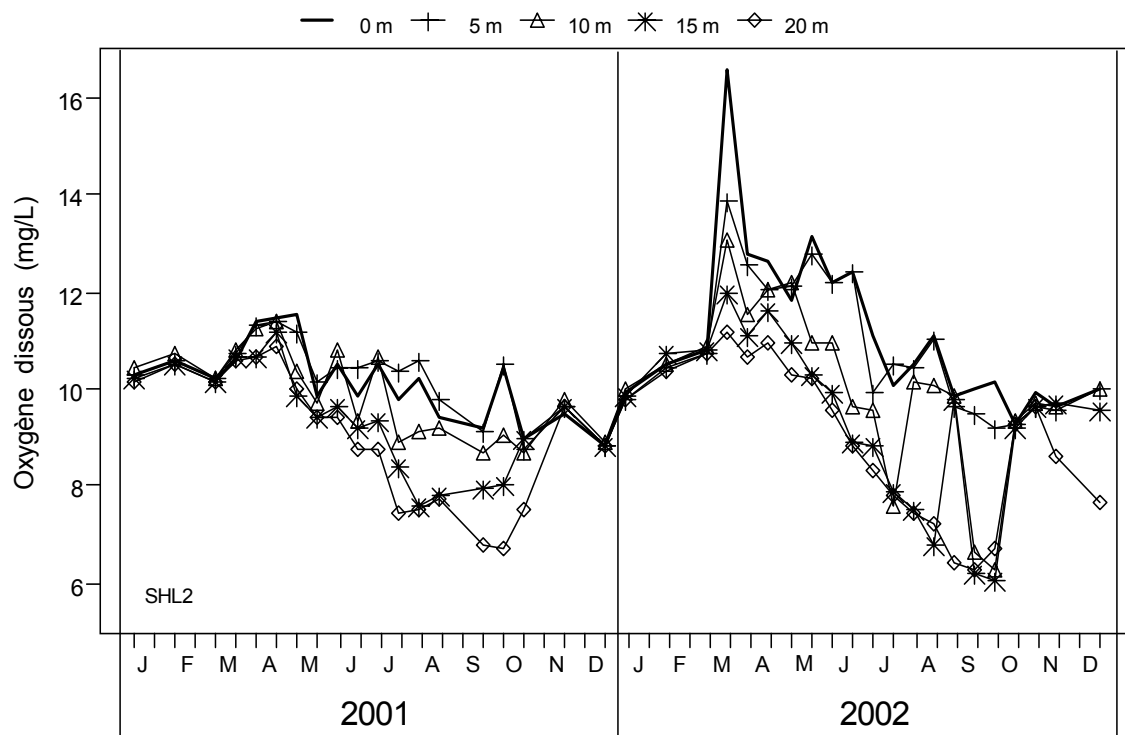


Figure 12 : Concentration en oxygène dissous des eaux des couches superficielles (0, 5, 10, 15 et 20 m), Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 12 : 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 peu marquée cette année : on l'observe au mois de mai avec une transparence maximum de 5.4 m durant la campagne du 15 mai 2002, plus faible qu'en 2001 (figure 11). Cette période est observée légèrement plus tôt que pour l'année 2001, mais ne se distingue pas nettement du reste de l'année.

Confirmant cette situation, on constate une augmentation de l'azote ammoniacal due au développement du zooplancton et de ses excréments (BALVAY, 2003). L'azote ammoniacal atteint des concentrations de 30 µgN/L en surface de manière continue entre mai et juillet, soit deux fois moins importantes que pour l'année précédente (figure 13) en relation avec la moindre abondance du zooplancton (BALVAY, 2003).

L'activité phytoplanctonique redémarre à partir de fin avril entraînant une chute des concentrations en nutriments dans les couches superficielles. La silice, les orthophosphates et les nitrates chutent à la même période (figures 8 à 10), les orthophosphates restent à des concentrations très faibles jusqu'en décembre (figure 8).

Cette activité est accompagnée d'un pic en carbone particulaire et en azote particulaire et atteint un maximum lors de la campagne du 18 mars 2002 (figure 14).

Les températures des couches superficielles sont similaires à celles de 2001 de janvier à juillet, et restent importantes jusqu'en septembre, avec une température supérieure de 4 °C par rapport à 2001 pour cette période (figure 6).

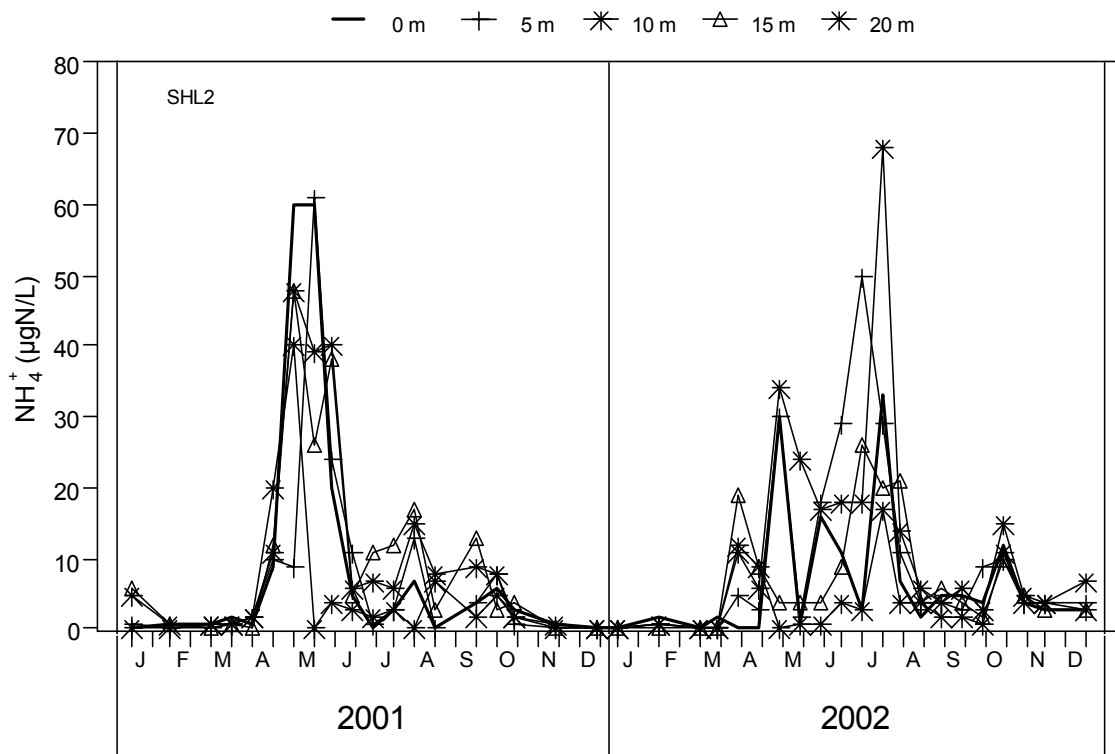


Figure 13 : Concentration en azote ammoniacal des eaux des couches superficielles (0, 5, 10, 15 et 20 m), Léman - Grand Lac (SHL2)

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

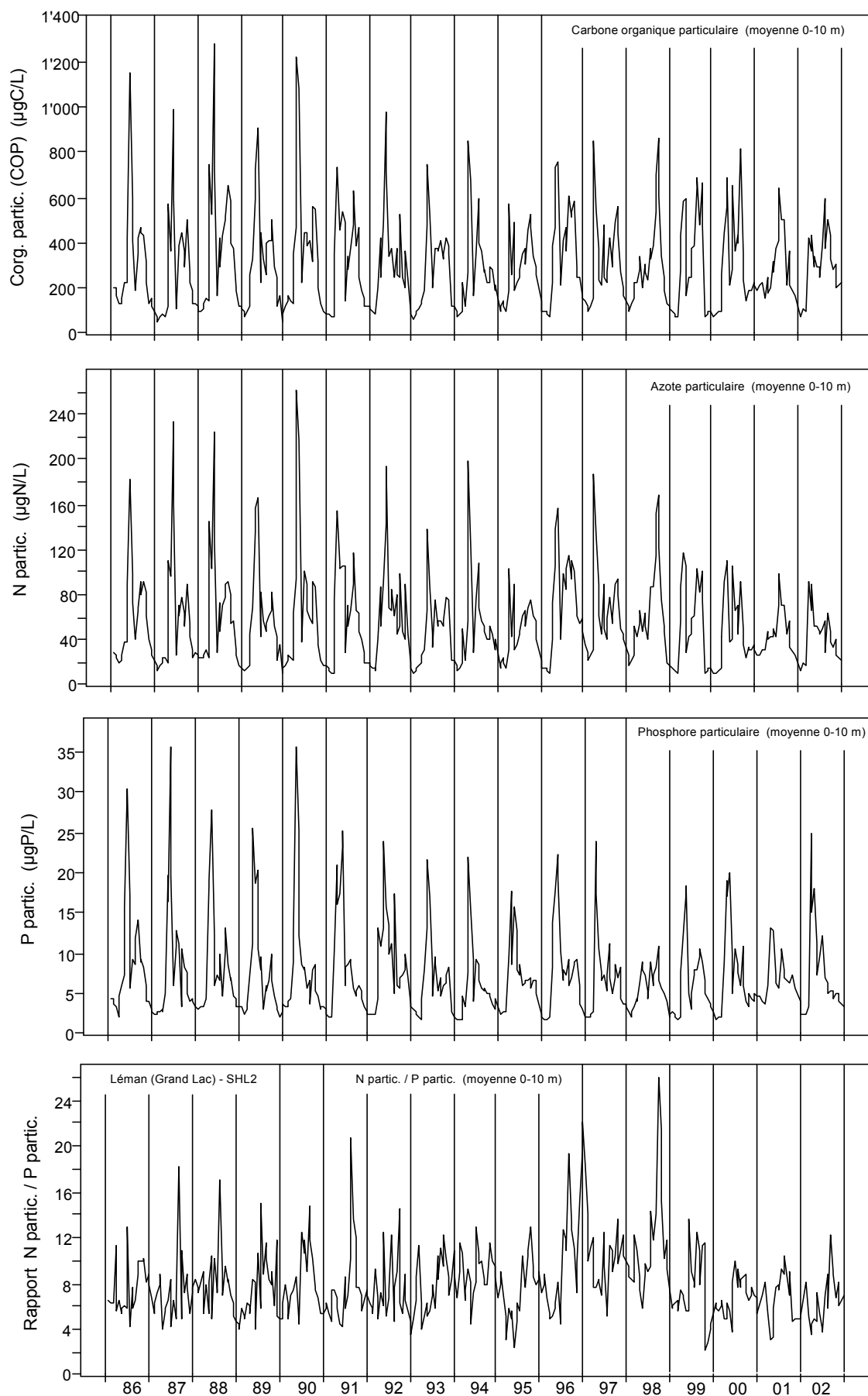


Figure 14 : Concentrations en carbone organique, azote et phosphore particulaires des eaux de la couche superficielle (0-10 m) et rapport Nparticulaire / Pparticulaire, Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 14 : Concentrations of particulate organic carbon, nitrogen and phosphorus in the water in the surface layers (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; la température des eaux de surface n'a plus atteint la température des eaux profondes, condition permettant le brassage complet des eaux et une homogénéisation des eaux. Toutefois on a observé, en 1999, un brassage presque complet (figures 15 et 17).

En 2002, l'homogénéisation de la colonne d'eau atteint environ 120 m lors de la campagne du 5 mars 2002, elle est donc insuffisante pour assurer la réoxygénation des eaux profondes (figures 15 et 17).

La moyenne de la teneur en oxygène au fond du Grand Lac en 2002 est de 3.37 mgO<sub>2</sub>/L, contre 3.90 mgO<sub>2</sub>/L en 2001 et elle est en dessous de 4 mgO<sub>2</sub>/L durant toute l'année sauf au mois de juin et de septembre (figure 17).

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 18), cette diffusion entraîne la remise en solution des orthophosphates contenus dans les sédiments (figure 16). Cette diffusion reste faible et du même ordre que les années précédentes : 103 µgP/L au maximum le 13 novembre 2002 (contre 104 µgP/L en 2001).

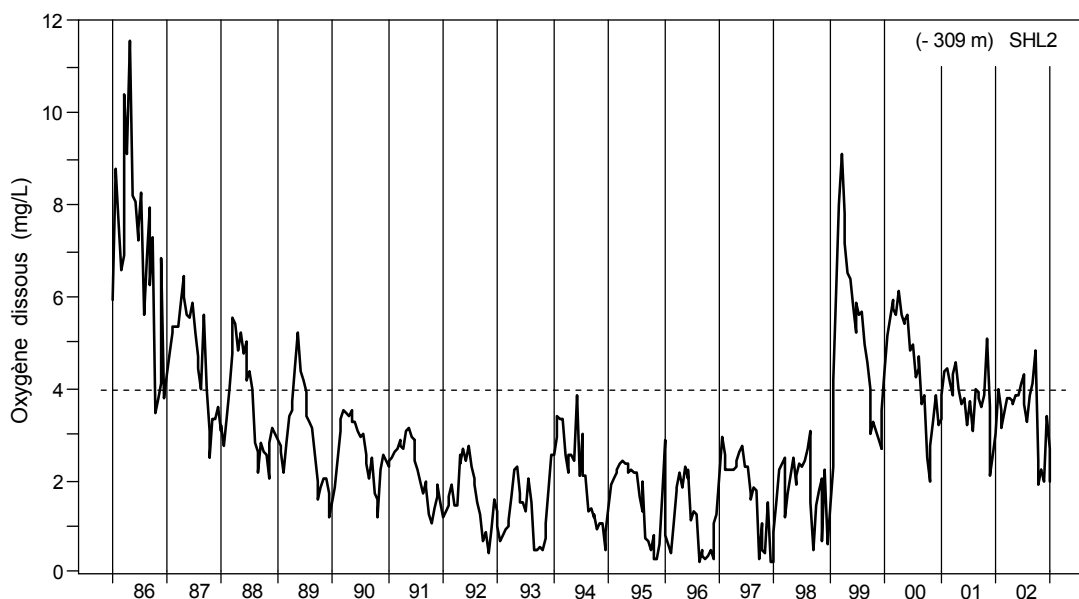


Figure 15 : Concentration en oxygène dissous des eaux du fond, Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 15 : Concentration of dissolved oxygen in the water at the bottom of the lake, lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

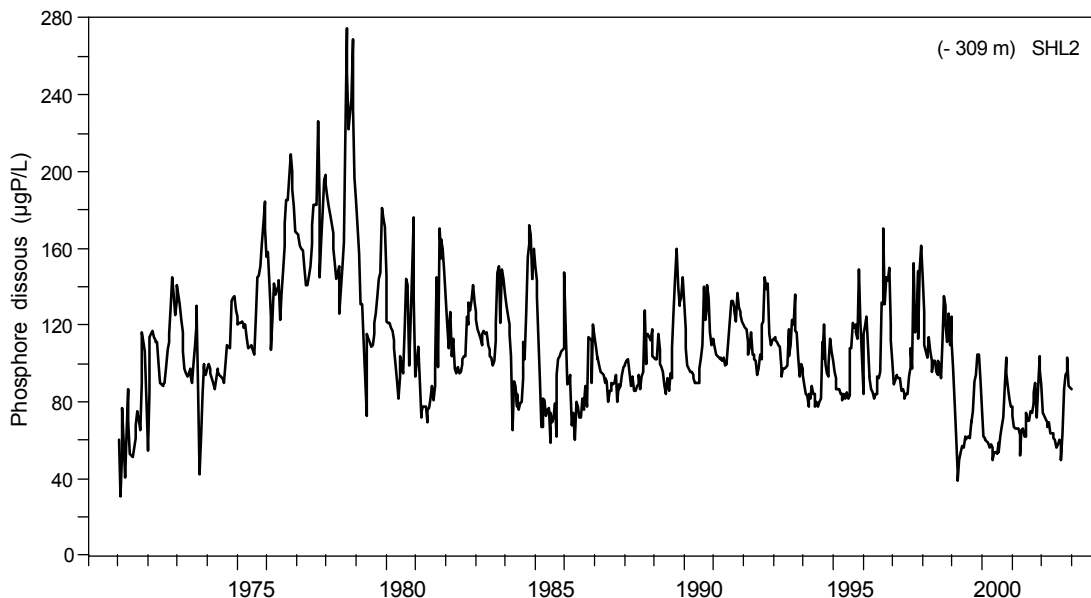


Figure 16 : Concentration en phosphore dissous (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) des eaux du fond, Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 16 : 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)

# Oxygène (mg/l) - Léman / Grand Lac (SHL 2) - 1996 à 2002

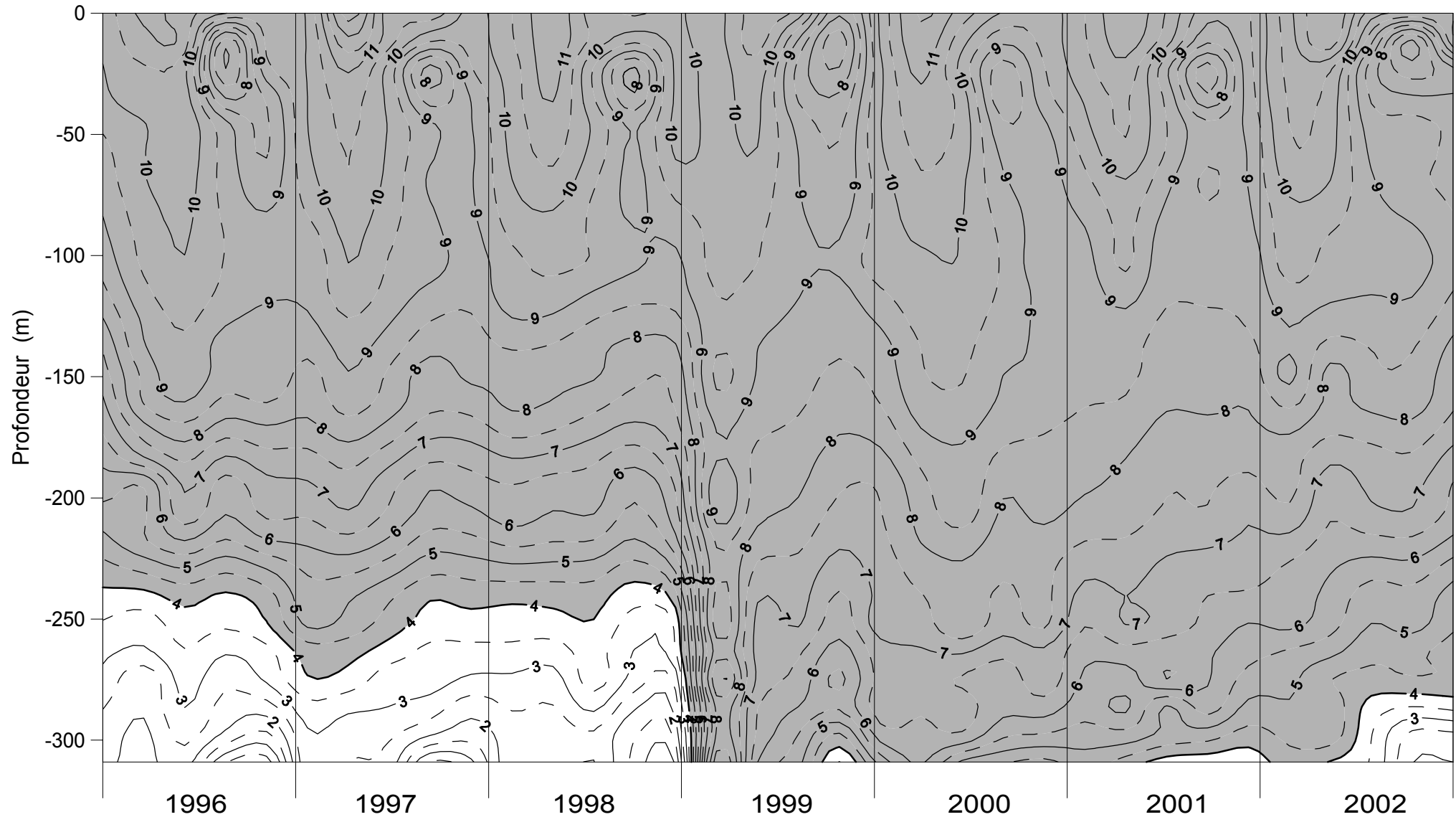


Figure 17 : Concentration en oxygène dissous des eaux du Léman (Grand Lac - SHL2) en fonction de la profondeur (zone grisée = concentration supérieure à 4 mgO<sub>2</sub>/L)  
(N.B. : suivant le nombre d'années prises en considération, de très légères modifications de représentation graphique peuvent apparaître - différence de lissage des courbes d'isovaleurs)

Figure 17 : 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))

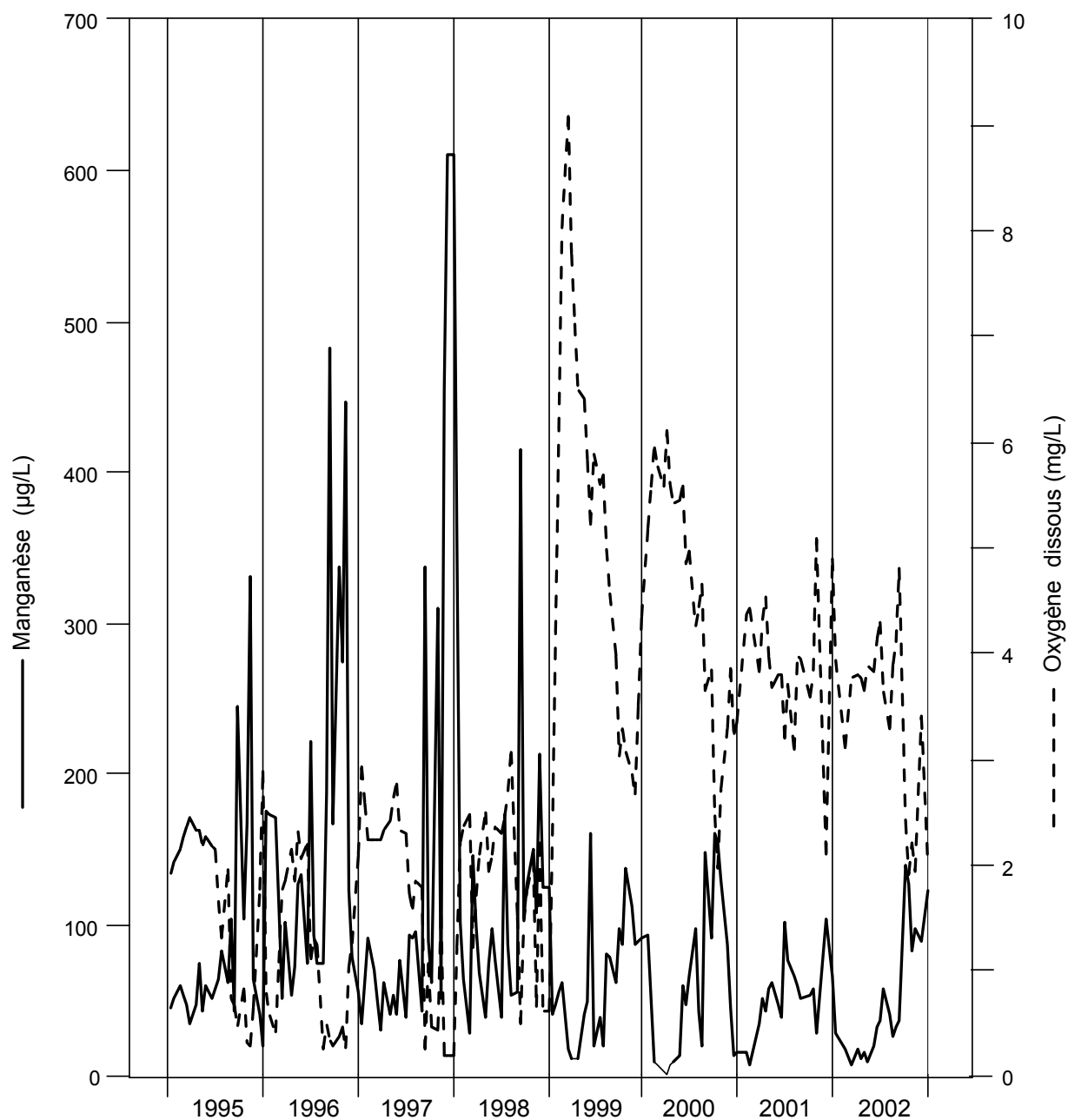


Figure 18 : Evolution comparée des concentrations en manganèse total et en oxygène dissous dans les eaux du fond du Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 18 : 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 15, 17 et 19)

Le faible brassage observé au mois de mars 2002 n'a pas permis une réoxygénation importante des couches profondes, la concentration d'oxygène au printemps au fond du lac atteint à peine 3.81 mgO<sub>2</sub>/L, plus faible qu'en 2001 : 4.55 mgO<sub>2</sub>/L.

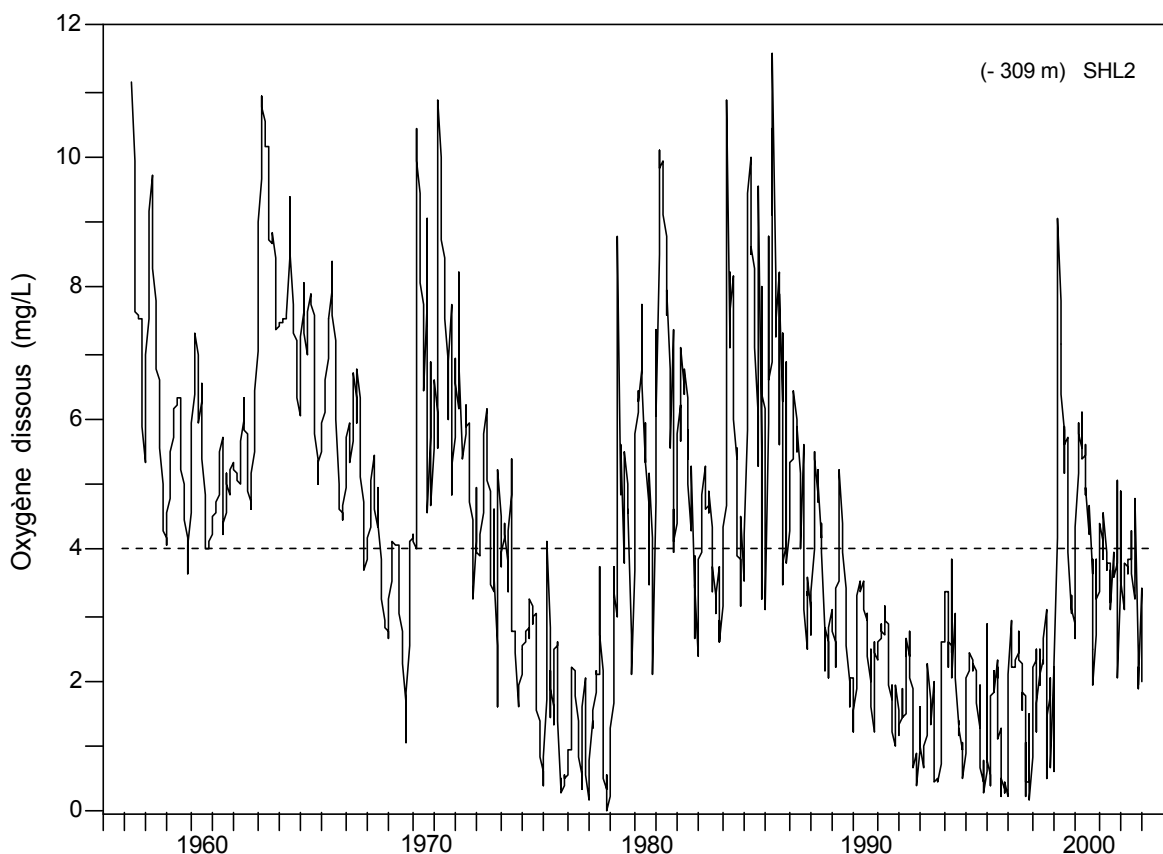


Figure 19 : Concentration en oxygène dissous des eaux au fond du Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 19 : Concentration of dissolved oxygen in the water at the bottom of lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

Sur les figures 15 et 19, la limite indiquée à 4 mg O<sub>2</sub>/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<sub>2</sub>/L ... Les conditions naturelles particulières sont réservées".

<sup>1</sup> Les concentrations moyennes pondérées sont calculées de la façon suivante :

$$C = \frac{\sum (C_i \cdot V_i)}{V}$$

avec

C<sub>i</sub> = concentration dans la strate

V<sub>i</sub> = volume de la strate

V = volume total du Grand Lac

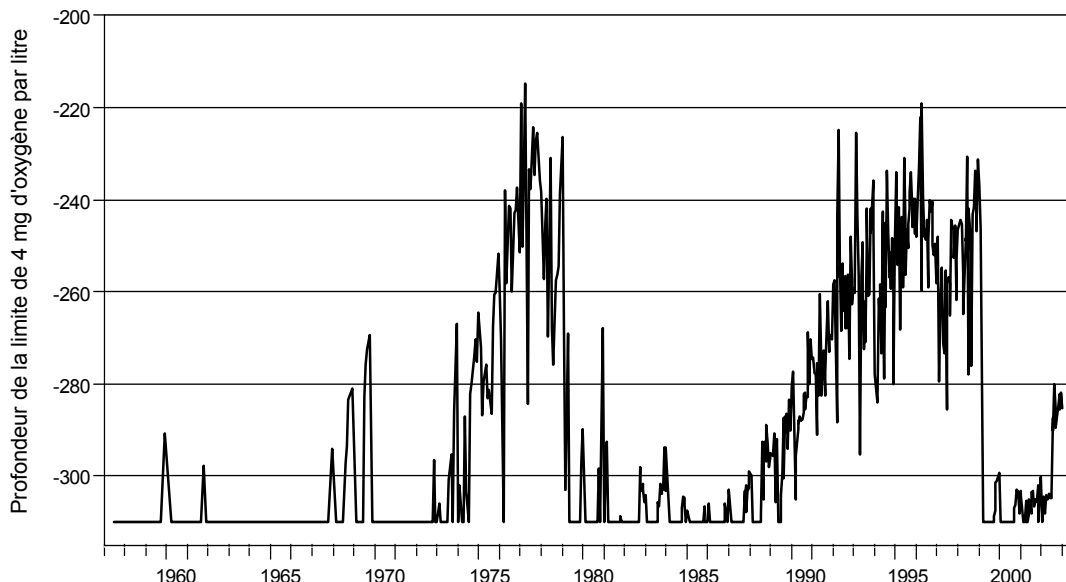


Figure 20 : Evolution de la profondeur de la limite à 4 mgO<sub>2</sub>/L dans le Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 20 : Change in the depth of the 4 mgO<sub>2</sub>/L threshold in lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

Le graphique de la figure 20 indique l'épaisseur de la colonne d'eau depuis le fond (-309 m) qui a des concentrations en oxygène inférieures à 4 mgO<sub>2</sub>/L.

## 5.2 Phosphore dissous et phosphore total (figures 21 et 22)

En 2002, le stock moyen en phosphore total n'évolue pas significativement, soit 2'915 tonnes P en phosphore total (2'930 t en 2001) et 2'530 tonnes P pour le phosphore dissous (2'465 t en 2001). Ce qui correspond à une concentration moyenne de 34.0 µgP/L en phosphore total et de 29.5 µgP/L en phosphore dissous (figure 21).

On observe un comportement asymptotique de l'évolution en phosphore total pour ces dernières années, ce qui confirme que des efforts supplémentaires de réduction du phosphore sont à produire, au niveau de l'assainissement et à la source.

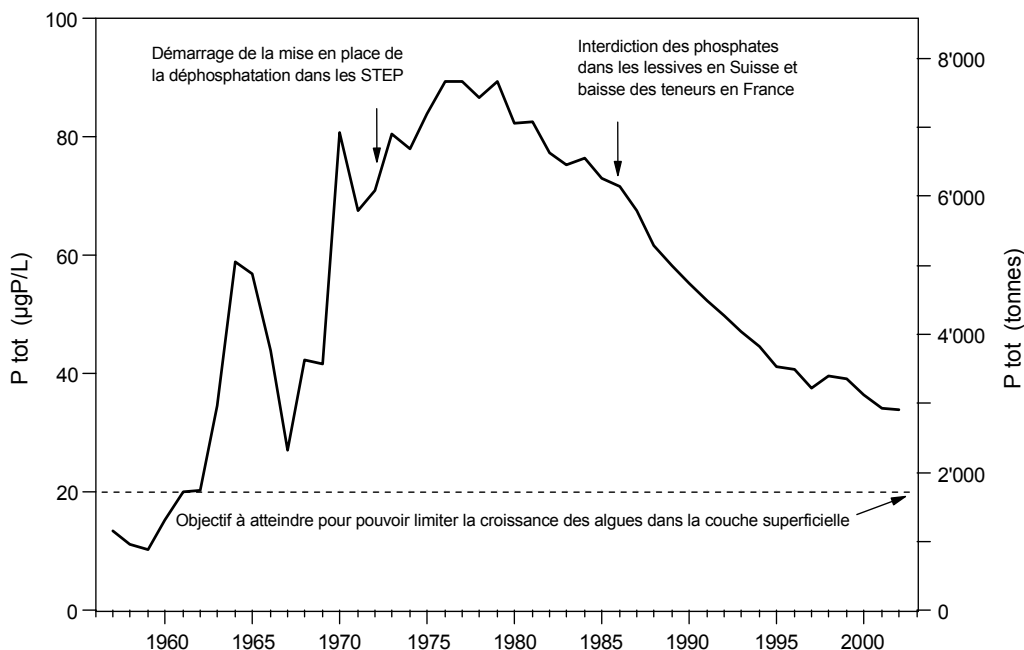


Figure 21 : Evolution de la concentration moyenne annuelle pondérée et du stock de phosphore total contenu dans le Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 21 : Change in the weighted mean annual total phosphorus concentration and total phosphorus content of the lake of Geneva - Grand Lac (SHL2)

La figure 22 montre l'évolution des concentrations en phosphore dissous dans les différentes couches pour les années 1996 à 2002.

# Orthophosphate - PO4 ( $\mu\text{gP/l}$ ) - Léman / Grand Lac (SHL 2) - 1996 à 2002

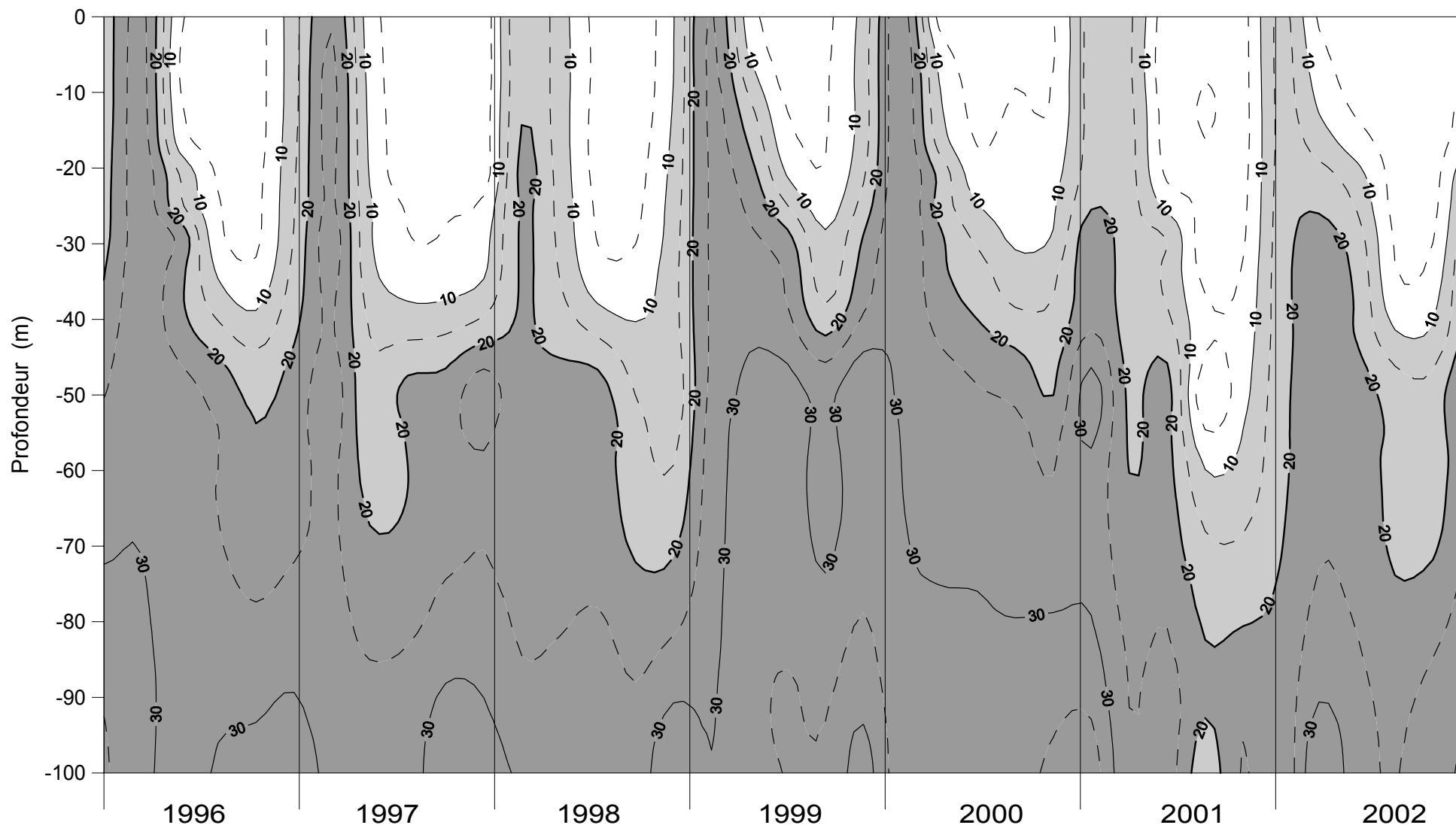


Figure 22 : Concentration en phosphore dissous ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) dans les différentes couches du Léman (SHL2) (zone grisée foncée = concentration supérieure à 20  $\mu\text{gP/L}$ ; zone grisée claire = concentration entre 10 et 20  $\mu\text{gP/L}$ ) (N.B. : suivant le nombre d'années prises en considération, de très légères modifications de représentation graphique peuvent apparaître (différence de lissage des courbes d'isovaleurs))

Figure 22 : Concentration of dissolved phosphorus ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) in the various layers of lake Geneva (SHL2) (dark gray shaded zone = concentration > 20  $\mu\text{gP/L}$ ; light gray shaded zone = concentration between 10 and 20  $\mu\text{gP/L}$ ) (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 23)

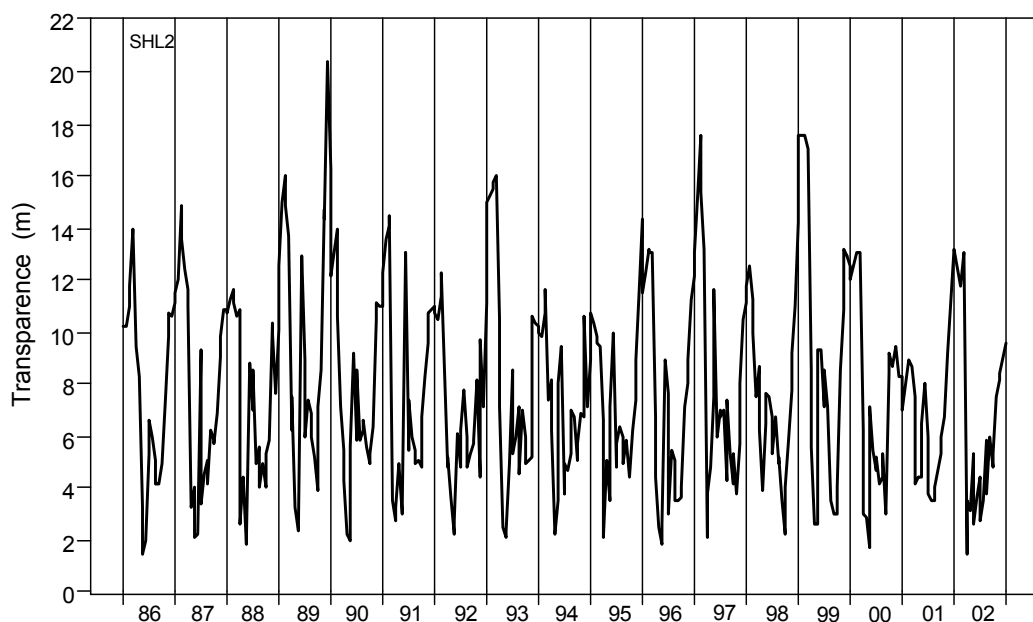


Figure 23 : Evolution de la transparence mesurée avec le disque de Secchi, Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 23 : Change in the transparency measured using a Secchi disk, lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

### 5.4 Azote nitrique et azote total (figure 24)

L'azote nitrique reste constant depuis quelques années avec une teneur moyenne annuelle de 544  $\mu\text{gN/L}$  en 2002 (soit 2.41  $\text{mgNO}_3/\text{L}$ ; la norme pour l'eau de boisson est en Suisse de : 40  $\text{mgNO}_3/\text{L}$  et en France de : 50  $\text{mgNO}_3/\text{L}$ ).

L'azote total reste constant relativement aux années précédentes avec une concentration de 659  $\mu\text{gN/L}$  en 2002 soit un stock de 56'460 tonnes N (figure 24).

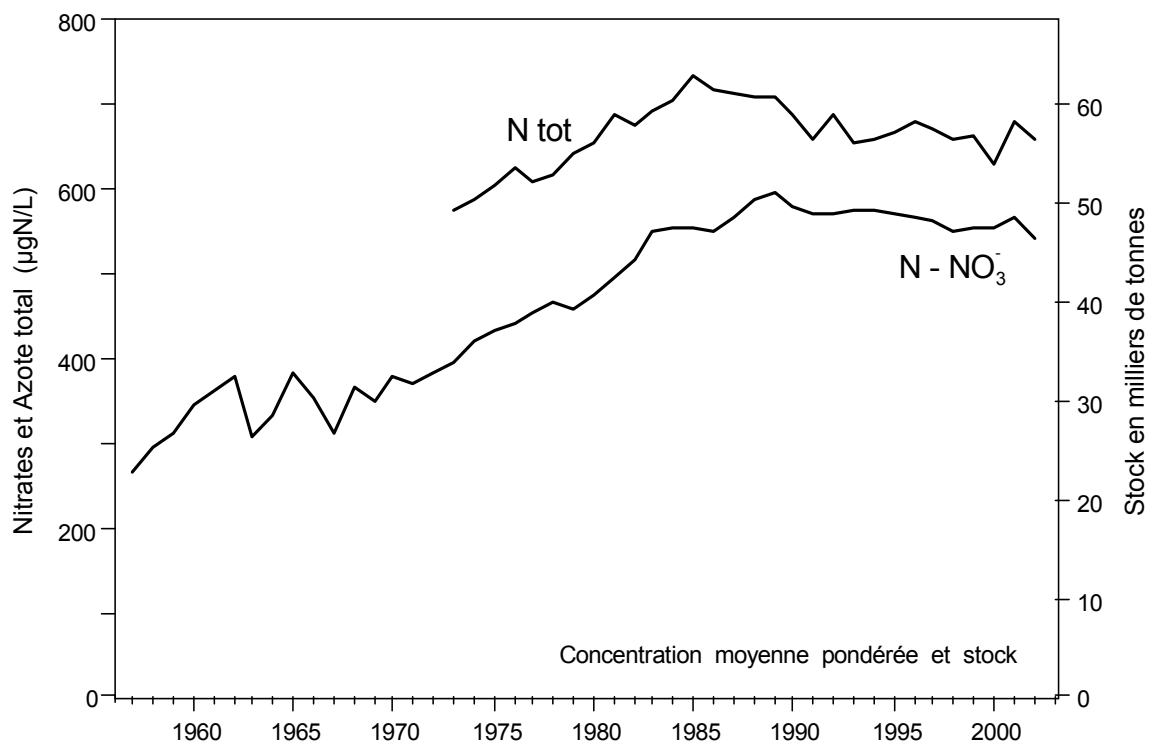


Figure 24 : Evolution de la concentration moyenne annuelle pondérée et des stocks d'azote total et d'azote nitrique contenus dans le Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 24 : 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 25)

Depuis 1971, la teneur du Grand Lac en chlorure est en augmentation et passe en 2002 à 7.60 mg/L contre 2.73 mg/L en 1971 (figure 25). Le stock moyen du Grand Lac est alors de 672'320 tonnes de chlorure.

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.

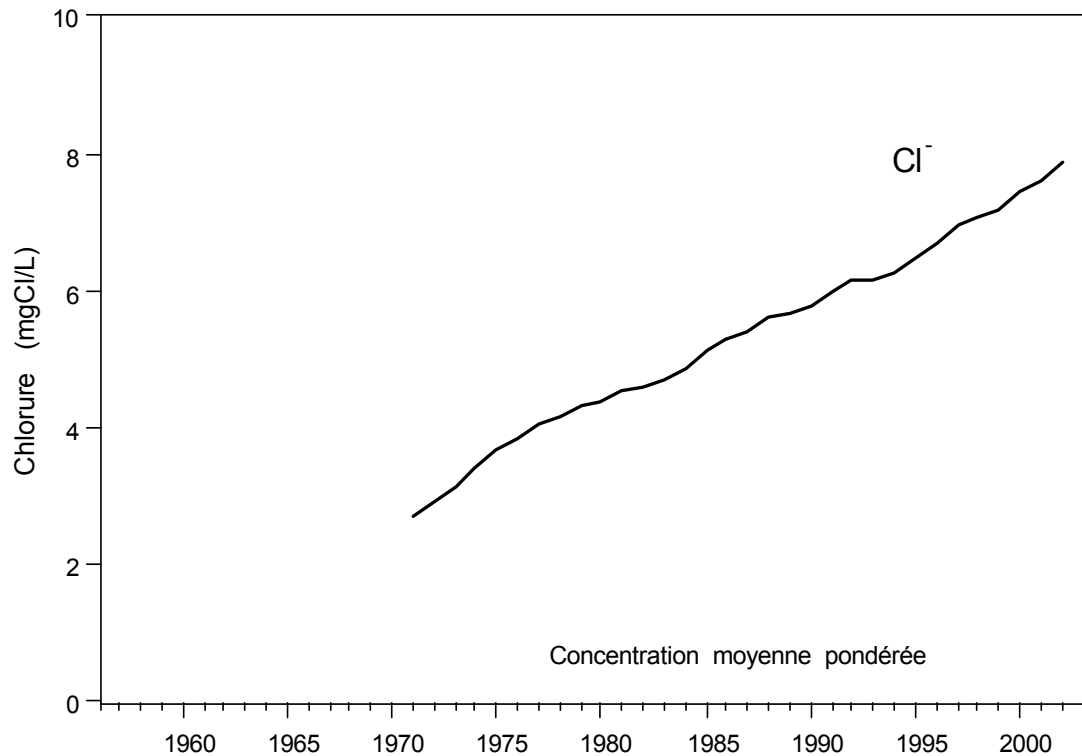


Figure 25 : Evolution de la concentration moyenne annuelle en chlorure, pondérée pour l'ensemble de la masse d'eau du Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 25 : 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, 1984b; SIGG, 1992).

Les teneurs en cuivre du printemps (17.04.2002) sont relativement élevées et nettement supérieures à celles observées en septembre (10.09.2002). Les fluctuations temporelles voir spatiales observées ces dernières années pour cet élément demeurent à ce jour non expliquées.

Les valeurs du fer et du manganèse, métaux non toxiques, sont données à titre indicatif.

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 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. 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 objectifs de qualité de cette ordonnance fixent la teneur en pesticides organiques à 0.1 µg/L pour les eaux de rivières. Cette concentration ne représente pas ce qui est admissible 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, un des produits de substitution des phosphates dans les lessives 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 augmentation des 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, on peut s'attendre à ce que le recours au NTA pour remplacer les phosphates diminue encore.

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 µg/L et à la valeur limite fixée, pour la Suisse, à 200 µg/L (OSEC, 1995).

Tableau 1 : Campagne du 17 avril 2002

Léman - Grand Lac (Station SHL 2)

Table 1 : Survey on April 17, 2002

lake Geneva - Grand Lac (SHL 2)

| Profondeur<br>m | Manganèse<br>µg/L | Fer<br>µg/L | Plomb<br>µg/L | Cadmium<br>µg/L | Chrome<br>µg/L | Cuivre<br>µg/L | Mercuré<br>µg/L |
|-----------------|-------------------|-------------|---------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|
| 0               | < 1               | 4           | nd *          | nd *            | 0.2            | 6              | nd *            |
| 1               | < 1               | 4           | nd            | nd              | 0.2            | 6              | nd              |
| 5               | < 1               | 5           | nd            | 0.02            | 0.2            | 8              | nd              |
| 7.5             | < 1               | 4           | nd            | nd              | 0.2            | 5              | nd              |
| 10              | < 1               | 7           | nd            | 0.02            | 0.2            | 6              | nd              |
| 30              | < 1               | 7           | nd            | nd              | 0.1            | 5              | nd              |
| 100             | 1                 | 5           | nd            | nd              | 0.2            | 5              | nd              |
| 305             | 10                | 5           | nd            | 0.03            | 0.1            | 4              | nd              |
| fond            | 11                | 6           | nd            | nd              | 0.1            | 11             | nd              |

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

Tableau 2 : Campagne du 10 septembre 2002

Léman - Grand Lac (Station SHL 2)

Table 2 : Survey on September 10, 2002

lake Geneva - Grand Lac (SHL 2)

| Profondeur<br>m | Manganèse<br>µg/L | Fer<br>µg/L | Plomb<br>µg/L | Cadmium<br>µg/L | Chrome<br>µg/L | Cuivre<br>µg/L | Mercuré<br>µg/L |
|-----------------|-------------------|-------------|---------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|
| 0               | < 1               | 4           | nd *          | nd *            | 0.1            | 1              | nd *            |
| 1               | < 1               | 4           | nd            | 0.06            | 0.1            | nd *           | nd              |
| 5               | < 1               | 6           | nd            | nd              | 0.1            | 1              | nd              |
| 7.5             | < 1               | 5           | nd            | 0.03            | 0.1            | 1              | nd              |
| 10              | 1                 | 5           | nd            | 0.06            | 0.1            | 2              | nd              |
| 30              | 1                 | 5           | nd            | 0.08            | 0.1            | nd             | nd              |
| 100             | < 1               | 4           | nd            | 0.10            | nd *           | nd             | nd              |
| 305             | 23                | 6           | nd            | 0.03            | nd             | nd             | nd              |
| fond            | 14                | 4           | nd            | nd              | nd             | nd             | nd              |

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

Tableau 3 : Pesticides (phytosanitaires) décelés

Léman - Grand Lac (Station SHL2)

Table 3 : Pesticides (crop treatments) detected

lake Geneva - Grand Lac (SHL 2)

| Profondeur<br>m | 17 avril 2002    |                  |                            |                           | 10 septembre 2002 |                  |                            |                           |
|-----------------|------------------|------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------|------------------|----------------------------|---------------------------|
|                 | Simazine<br>µg/L | Atrazine<br>µg/L | Terbutyla-<br>zine<br>µg/L | Métola-<br>chlore<br>µg/L | Simazine<br>µg/L  | Atrazine<br>µg/L | Terbutyla-<br>zine<br>µg/L | Métola-<br>chlore<br>µg/L |
| 0               | 0.01             | 0.02             | < 0.02                     | 0.03                      | 0.01              | 0.02             | < 0.02                     | 0.03                      |
| 1               | 0.02             | 0.02             | < 0.02                     | 0.04                      | 0.01              | 0.02             | < 0.02                     | 0.02                      |
| 5               | 0.02             | 0.03             | < 0.02                     | 0.02                      | 0.01              | 0.02             | < 0.02                     | 0.03                      |
| 7.5             | 0.01             | 0.03             | < 0.02                     | 0.04                      | 0.01              | 0.03             | < 0.02                     | 0.04                      |
| 10              | 0.01             | 0.03             | < 0.02                     | 0.03                      | 0.01              | 0.03             | < 0.02                     | 0.03                      |
| 30              | 0.02             | 0.02             | < 0.02                     | 0.04                      | 0.02              | 0.03             | 0.03                       | 0.03                      |
| 100             | 0.02             | 0.03             | < 0.02                     | 0.03                      | 0.02              | 0.02             | < 0.02                     | 0.03                      |
| 305             | 0.02             | 0.04             | < 0.03                     | 0.04                      | 0.02              | 0.04             | < 0.02                     | 0.03                      |
| fond            | 0.02             | 0.03             | < 0.02                     | 0.03                      | 0.02              | 0.04             | < 0.02                     | 0.04                      |

Tableau 4 : NTA et EDTA

Léman - Grand Lac (Station SHL2)

Table 4 : NTA and EDTA

lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

| Profondeur<br>m | NTA (µg/L)    |                   | EDTA (µg/L)   |                   |
|-----------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|
|                 | 17 avril 2002 | 10 septembre 2002 | 17 avril 2001 | 10 septembre 2002 |
| 0               | 0.2           | 0.6               | 0.5           | 0.4               |
| 1               | 0.3           | 0.3               | 0.5           | 0.5               |
| 5               | 0.2           | 0.6               | 0.6           | 0.4               |
| 7.5             | 0.3           | 0.5               | 0.6           | 0.6               |
| 10              | 0.3           | 0.5               | 0.4           | 0.3               |
| 30              | 0.1           | 0.2               | 0.3           | 0.4               |
| 100             | 0.3           | 0.1               | 0.5           | 0.4               |
| 305             | < 0.1         | < 0.1             | 0.3           | 0.4               |
| fond            | 0.1           | < 0.1             | 0.4           | 0.3               |

#### RÉFÉRENCES POUR L'EAU POTABLE :

|            | Manganèse<br>µg/L | Fer<br>µg/L | Plomb<br>µg/L | Cadmium<br>µg/L | Chrome<br>µg/L | Cuivre<br>µg/L | Mercuré<br>µg/L |
|------------|-------------------|-------------|---------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|
| OMS (1)    | 500               | 300         | 300           | 5               | 50             | 2'000          | 1               |
| CE (2)     | 50                | 200         | 10            | 5               | 50             | 2'000          | 1               |
| OSEC (3) C | 50                | 300         | -             | -               | -              | 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 | Mercuré<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 2002 sont les suivantes :

- le brassage hivernal des eaux n'a atteint que les 120 premiers mètres de la colonne d'eau en mars 2002,
- la concentration en oxygène des eaux du fond du Grand Lac atteint 4.31 mg O<sub>2</sub>/L au maximum au mois de juin et 1.91 mg O<sub>2</sub>/L au minimum à mi-octobre. 10 mois sur 12, la concentration en oxygène dissous est inférieure à 4 mg O<sub>2</sub>/L dans les eaux du fond,
- la température des eaux du fond continue d'augmenter. Depuis le dernier brassage en 1986, il y a un accroissement de 1°C. En 2002 on observe 5.94°C en moyenne contre 5.86°C en 2001.
- la période des "eaux claires", en liaison avec le développement du zooplancton, est peu marquée cette année. Elle a été observée au mois de mai, avec une transparence très faible par rapport aux années précédentes,
- le phosphore dissous est consommé en quasi-totalité dans les couches superficielles à partir de mi-mars jusqu'en décembre,
- la concentration moyenne en phosphore total du lac est de 34.0 µg P/L en 2002, il n'y a pas d'évolution significative par rapport à 2001.

Pour les stocks :

- pour le Grand Lac, on observe une valeur de 2'920 tonnes en moyenne pour l'année 2002 pour le phosphore total et de 2'530 tonnes pour le phosphore dissous,
- l'azote nitrique et l'azote total restent stables relativement aux années précédentes,
- le stock en chlorure continue d'augmenter pour atteindre 672'320 tonnes Cl, soit 3.3 % de plus qu'en 2001.

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.

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 dans l'Ordonnance suisse sur la protection des eaux (OEaux, 1998), mais pour les cours d'eau, 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. (2003) : Evolution du zooplancton du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2002, 85-97.
- 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 physico-chimiques et biologiques dans l'eau du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1992, 113-162 et 162b-162p.
- CORVI, C. (1984b) : 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).
- OSEC (1995) : Ordonnance du 26 juin 1995 sur les Substances Etrangères et les Composants (état au 31 janvier 2000) (Suisse).
- 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. et PASQUINI, F. (2003) : Analyses comparatives interlaboratoires. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2002.

## 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       |             |

#### I. 3 Divers :

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

### II. INSECTICIDES ET FONGICIDES CHLORÉS

|                       |                    |
|-----------------------|--------------------|
| $\alpha$ - Endosulfan | Aldrine            |
| $\beta$ - Endosulfan  | Captane            |
| $\gamma$ - Endosulfan | Chlorothalonil     |
| Endosulfan-sulfate    | Cyproconazol       |
| $\alpha$ - HCH        | Dichlofluanide     |
| $\beta$ - HCH         | Dicofol            |
| $\gamma$ - HCH        | Dieldrine          |
| $\delta$ - HCH        | 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) |             |



Concentrations moyennes pondérées - Léman (Grand Lac - SHL 2)

Mean weighted concentrations

| Année | Oxygène<br>mg/L | P tot.<br>µg P/L | P-PO <sub>4</sub><br>µg P/L | N tot.<br>µg N/L | Nmintot<br>µg N/L | N-NH <sub>4</sub><br>µg N/L | N-NO <sub>2</sub><br>µg N/L | N-NO <sub>3</sub><br>µg N/L | Cl<br>mg Cl/L | C.O.P<br>µg C/L | Npartic<br>µg N/L | Ppartic<br>µg P/L | Transpar<br>12 mois<br>(en m) | Transpar<br>mai-sept<br>(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                           |

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<br>tonnes | P tot.<br>tonnes | P-PO <sub>4</sub><br>tonnes | N tot.<br>tonnes | Nmintot<br>tonnes | N-NH <sub>4</sub><br>tonnes | N-NO <sub>2</sub><br>tonnes | N-NO <sub>3</sub><br>tonnes | Cl<br>tonnes | C.O.P.<br>tonnes | P partic<br>tonnes | N partic<br>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                |

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

## DYNAMICS OF PHYTOPLANKTON PRODUCTION AND CHLOROPHYLL BIOMASS IN LAKE GENEVA

Campagne 2002

PAR

**Christophe LÉBOULANGER**

avec la collaboration technique de

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

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

### RÉSUMÉ

*Durant l'année 2002, vingt et une campagnes de mesures du stock et de l'activité phytoplanctonique ont été réalisées au point SHL2. La production annuelle nette a été estimée à 232 g de carbone fixé par m<sup>2</sup>, soit seulement 60 % de celle observée en 2001, et comparable aux estimations des années précédentes. Les événements remarquables de cette année sont : 1) une forte activité de production principalement entre mars et mai, sans seconde poussée en automne, et 2) la persistance d'une biomasse phytoplanctonique significative, liée à une production primaire également forte, pendant les mois d'hiver. La concentration moyenne pondérée en chlorophylle a dans la couche 0-10 m est par contraste plus importante que les années précédentes, avec 7.5 mgchl a/m<sup>3</sup>, avec une phase d'eaux claires peu ou pas marquée. La productivité moyenne annuelle est cependant relativement faible, dans la continuité de la décroissance observée au cours des années 1999-2000, et comparable à la période 1987-1993. Les mesures réalisées en 2002 semblent donc confirmer le caractère exceptionnel de l'année 2001.*

### ABSTRACT

*During the year 2002, twenty-one surveys measuring the phytoplankton stock and activity were carried out at the SHL2 station. The net annual production was estimated to be around 232 g carbon fixed per square meter, that is only 60 % of the value reported in 2001, but similar to the estimates for the preceding years. 2002 had two unusual features : 1) production rates were high between March and May, without any second peak in autumn, and 2) there was a persistently significant phytoplankton biomass, linked to high primary production, during the winter months. The average balanced chlorophyll a concentration in the 0-10 m layer was, in contrast, higher than in the preceding years, about 7.5 mgchl a/m<sup>3</sup>, and the clear water period was barely discernable. Finally, the relatively low average annual productivity was consistent with the decline recorded during the 1999-2000 period, and comparable to that which occurred during the years 1987-1993. The determinations performed in 2002 therefore seem to confirm that the pattern for 2001 was unusual.*

### 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), et il est important d'en comprendre les mécanismes.

## 2. MÉTHODES

Au cours de l'année 2002, les 21 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 (2000), la méthode de STEEMAN-NIELSEN (1952) employant le  $^{14}\text{C}$  comme traceur a été utilisée pour évaluer in situ 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, enrichi en carbonate radioactif puis ré-immersé 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  $0.8\ \mu\text{m}$  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, proportionnelle à l'activité du phytoplancton. 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  $\text{mgchl}a/\text{m}^3$ ) et de la production primaire (en  $\text{mgCassimilé}/\text{m}^3$  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, mais augmente régulièrement, avant l'apparition d'un pic de biomasse extrêmement élevé le 18 mars. Lors de cette campagne de prélèvements, la biomasse maximale a été de plus de  $78\ \text{mgchl}a/\text{m}^3$  en surface, soit près du double de la valeur maximale relevée lors de l'année 2001 par exemple ( $42\ \text{mgchl}a/\text{m}^3$  à 15 m le 9 août 2001). Il est également remarquable à cette date que la biomasse et la production primaire soient extrêmement concentrées dans les cinq premiers mètres sous la surface, ce qui est une situation inhabituelle. Lors de cette campagne, la biomasse phytoplanctonique a été dominée par les espèces nanoplanctoniques, dont des cryptophycées du genre *Rhodomonas* et la diatomée *Fragilaria crotonensis* (DRUART et LAVIGNE, 2003). Les lois de l'allométrie font que les petites espèces ont un métabolisme plus actif, et la forte production est également liée à une brusque diminution de la quantité de phosphore présente dans la couche supérieure du lac (LAZZAROTTO *et al.*, 2003).

La production primaire pré-estivale culmine à près de 1000 mg C fixé par litre et par incubation à 5 mètres le 18 mars, prolifération printanière inhabituellement précoce et intense. La phase des eaux claires qui suit est peu marquée, et la transparence ne dépasse 5 m que le 15 mai suivant. 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 marquée. La production primaire dans son ensemble suit le même processus.

Les mois d'automne ne présentent également pas d'augmentation brusque des paramètres de biomasse et de production, et 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).

Tableau 1 : Principaux paramètres de la production primaire.  $\Sigma A$  : 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 Chl Amax biomass; Tds : Secchi depth

| DATE       | $\Sigma A$<br>mgC/m <sup>2</sup> .inc | PPj<br>mgC/m <sup>2</sup> .j | Amax<br>mgC/m <sup>3</sup> .inc | Chl Amax<br>mg/m <sup>3</sup> | Chl 0-10<br>mg/m <sup>2</sup> | Chl 0-30<br>mg/m <sup>2</sup> | Tds<br>m |
|------------|---------------------------------------|------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------|
| 15/01/2002 | 87                                    | 192                          | 9                               | 0.74                          | 7.6                           | 22.5                          | 13.2     |
| 11/02/2002 | 363                                   | 805                          | 28                              | 1.79                          | 17.9                          | 51.6                          | 11.8     |
| 05/03/2002 | 452                                   | 1004                         | 30                              | 1.69                          | 16.6                          | 50.7                          | 13.0     |
| 18/03/2002 | 1831                                  | 4064                         | 941                             | 78.42                         | 379.1                         | 526.1                         | 1.5      |
| 17/04/2002 | 1489                                  | 3305                         | 283                             | 8.58                          | 67.8                          | 90.9                          | 3.5      |
| 30/04/2002 | 282                                   | 625                          | 56                              | 9.99                          | 87.3                          | 156.3                         | 3.5      |
| 15/05/2002 | 164                                   | 364                          | 13                              | 2.25                          | 21.5                          | 49.4                          | 5.3      |
| 29/05/2002 | 182                                   | 405                          | 56                              | 20.36                         | 105.5                         | 131.2                         | 2.6      |
| 12/06/2002 | 828                                   | 1839                         | 171                             | 25.25                         | 150.4                         | 210.7                         | 3.7      |
| 27/06/2002 | 445                                   | 987                          | 65                              | 16.40                         | 158.9                         | 278.9                         | 4.4      |
| 08/07/2002 | 463                                   | 1027                         | 104                             | 12.29                         | 117.4                         | 164.8                         | 2.8      |
| 23/07/2002 | 583                                   | 1294                         | 92                              | 9.27                          | 85.1                          | 130.4                         | 3.5      |
| 05/08/2002 | 423                                   | 939                          | 63                              | 7.79                          | 74.0                          | 141.0                         | 5.8      |
| 19/08/2002 | 398                                   | 884                          | 57                              | 4.85                          | 43.8                          | 89.0                          | 3.8      |
| 10/09/2002 | 300                                   | 665                          | 35                              | 5.40                          | 52.6                          | 118.3                         | 6.0      |
| 30/09/2002 | 237                                   | 527                          | 41                              | 6.99                          | 83.0                          | 128.7                         | 4.8      |
| 16/10/2002 | 249                                   | 552                          | 62                              | 7.00                          | 55.6                          | 83.3                          | 5.4      |
| 28/10/2002 | 335                                   | 743                          | 36                              | 3.03                          | 30.1                          | 90.4                          | 7.5      |
| 13/11/2002 | 110                                   | 243                          | 13                              | 2.24                          | 24.2                          | 62.2                          | 8.2      |
| 25/11/2002 | 119                                   | 264                          | 15                              | 2.34                          | 22.6                          | 45.5                          | 8.4      |
| 17/12/2002 | 293                                   | 650                          | 43                              | 2.66                          | 28.0                          | 47.9                          | 9.6      |

### 3.2 Variations saisonnières

Les trois premiers mois de l'année montrent une biomasse élevée, en tout point comparable à celle habituellement relevée au cours du premier pic printanier, mais avec une activité inférieure (qui reste cependant très élevée et contribue significativement à la forte production totale de l'année 2001). La biomasse totale 0-30 m décroît graduellement de janvier à fin mars (de 210 à 130 mgchl a/m<sup>2</sup>), et chute ensuite plus abruptement. La phase printanière (biomasse et production élevées) est marquée de façon semblable aux années précédentes, avec un maximum de biomasse exprimée en chlorophylle a de 158 mg/m<sup>2</sup> 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. Cette poussée printanière est suivie d'une phase claire peu marquée en juin puis d'une nouvelle et très forte augmentation en juillet.

Tableau 2 : Évolution à long terme de la production primaire nette annuelle (PPAN en gC/m<sup>2</sup>.an) et de la concentration annuelle moyenne en chlorophylle a (en mg/m<sup>3</sup>) intégrée sur 0-10 m.

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

| Année      | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| PPAN       | 299  | 295  | 293  | 258  | 359  | 268  | 295  | 223  | 205  | 282  | 249  | 272  | 210  | 218  | 381  | 232  |
| chl a 0-10 | 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  |

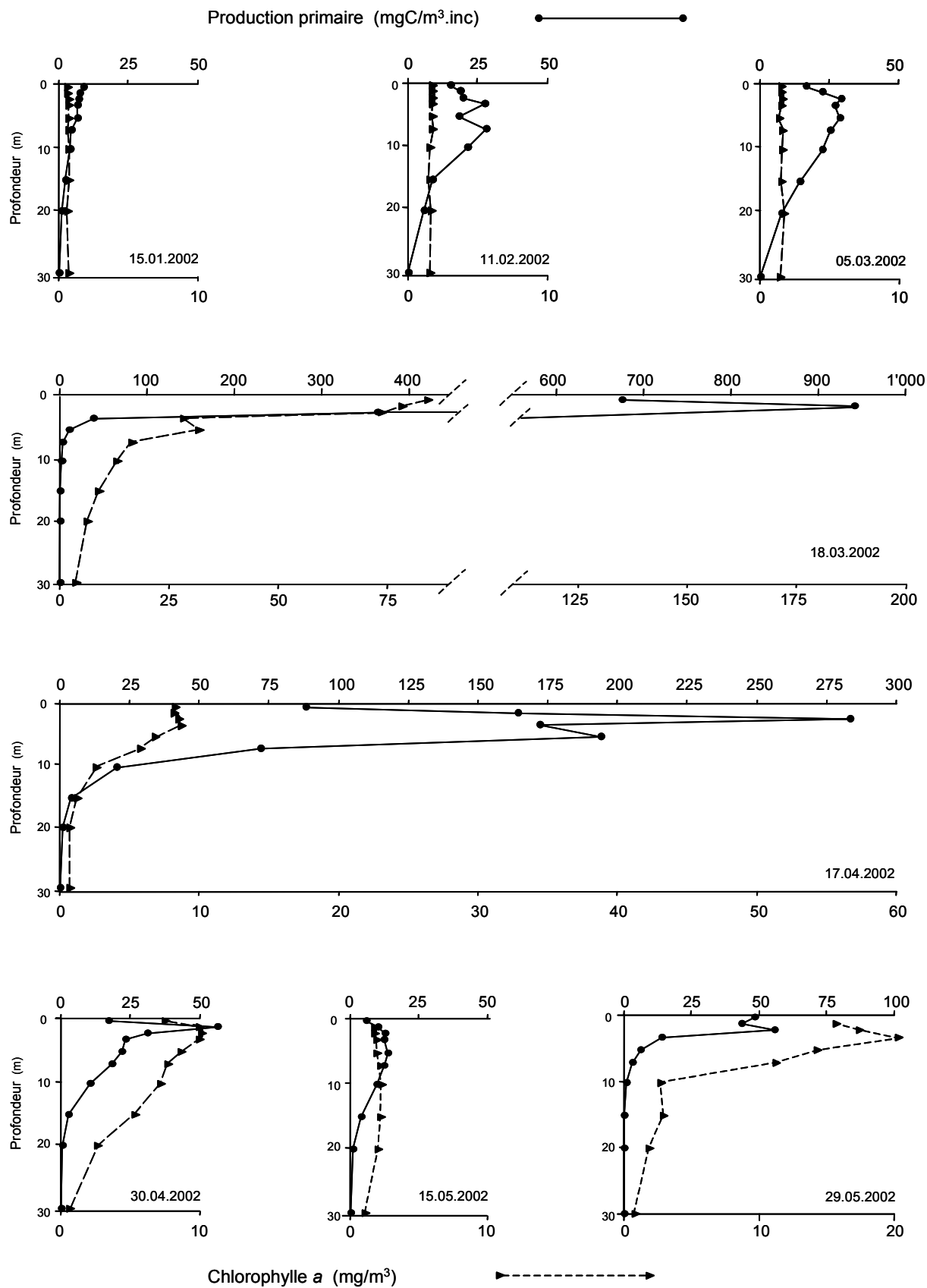


Figure 1 : Profils verticaux de la production primaire (traits pleins, échelles supérieures en mgC fixé par m<sup>3</sup> par incubation) et de la biomasse exprimée en chlorophylle a (traits pointillés, échelle inférieure en mgchla par m<sup>3</sup>) au point SHL2 du 15 janvier au 29 mai 2002

Figure 1: Vertical profiles of the primary production (unbroken line, upper scale in mgC fixed per m<sup>3</sup> per incubation) and phytoplankton biomass expressed as chlorophyll a (dotted line, lower scale in mgchla per m<sup>3</sup>) at the SHL2 station from January 15, to May 29, 2002

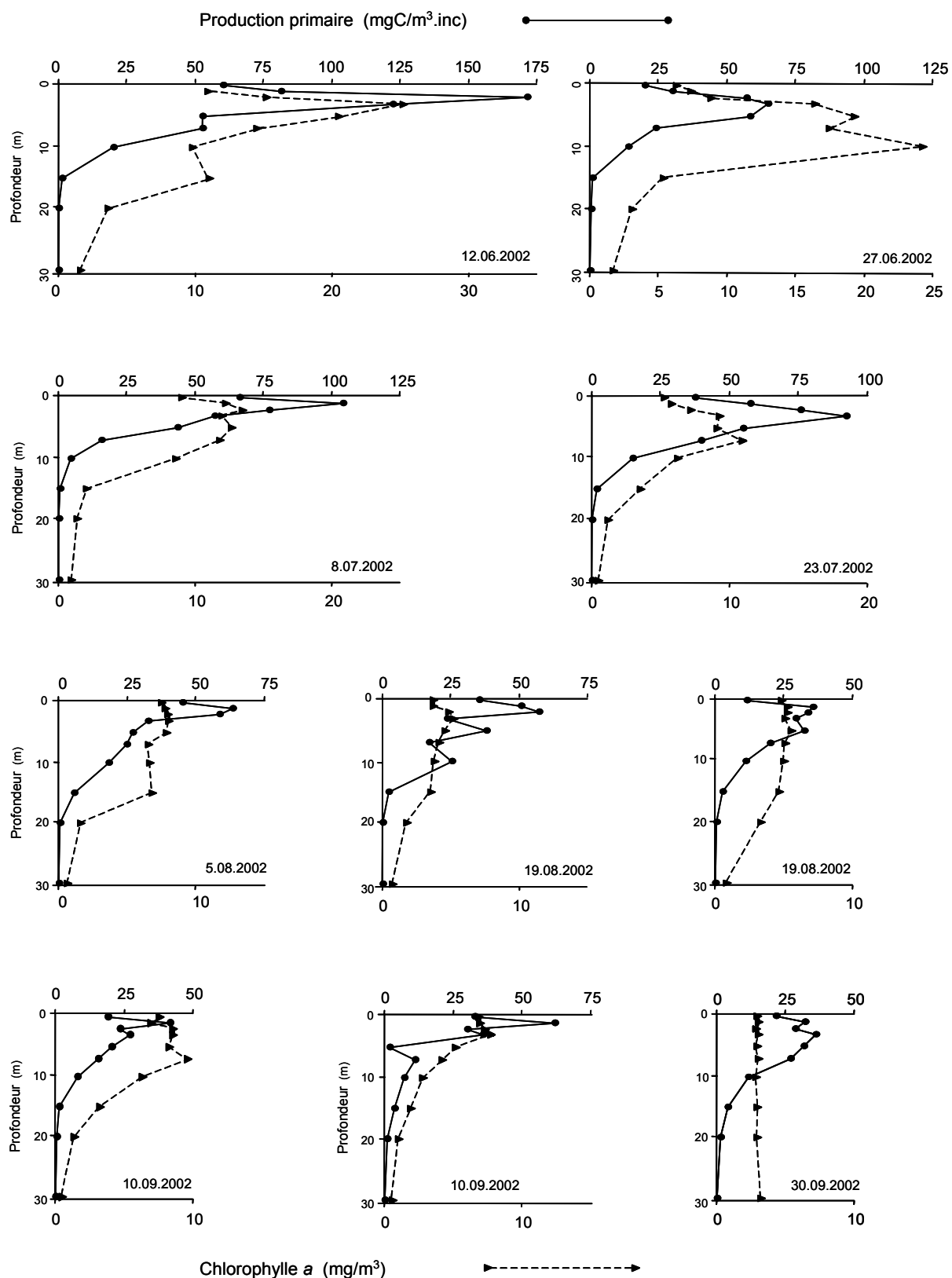


Figure 1 (suite) : Profils verticaux de la production primaire et de la biomasse exprimée en chlorophyll a au point SHL2 du 12 juin au 30 septembre 2002 (mêmes unités).

Figure 1 (continued) : Vertical profiles of primary production and biomass at SHL2 station from June 12 to September 30, 2002 (same units as above).

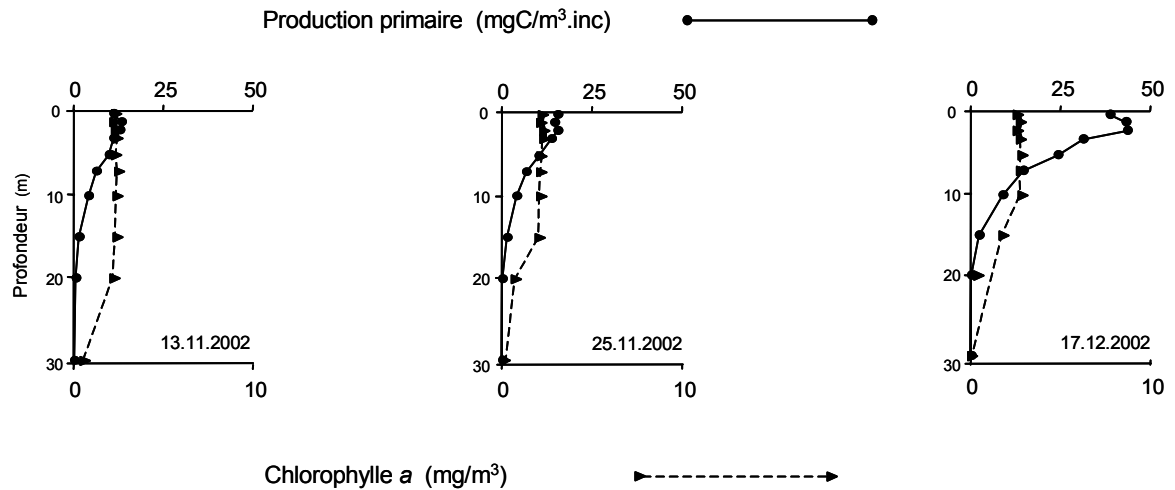


Figure 1 (suite et fin) : Profils verticaux de la production primaire et de la biomasse exprimée en chlorophylle *a* au point SHL2 du 13 novembre au 17 décembre 2002 (mêmes unités)

Figure 1 (end) : Vertical profiles of primary production and biomass at SHL2 station from November 13 to December 17, 2002 (same units as above)

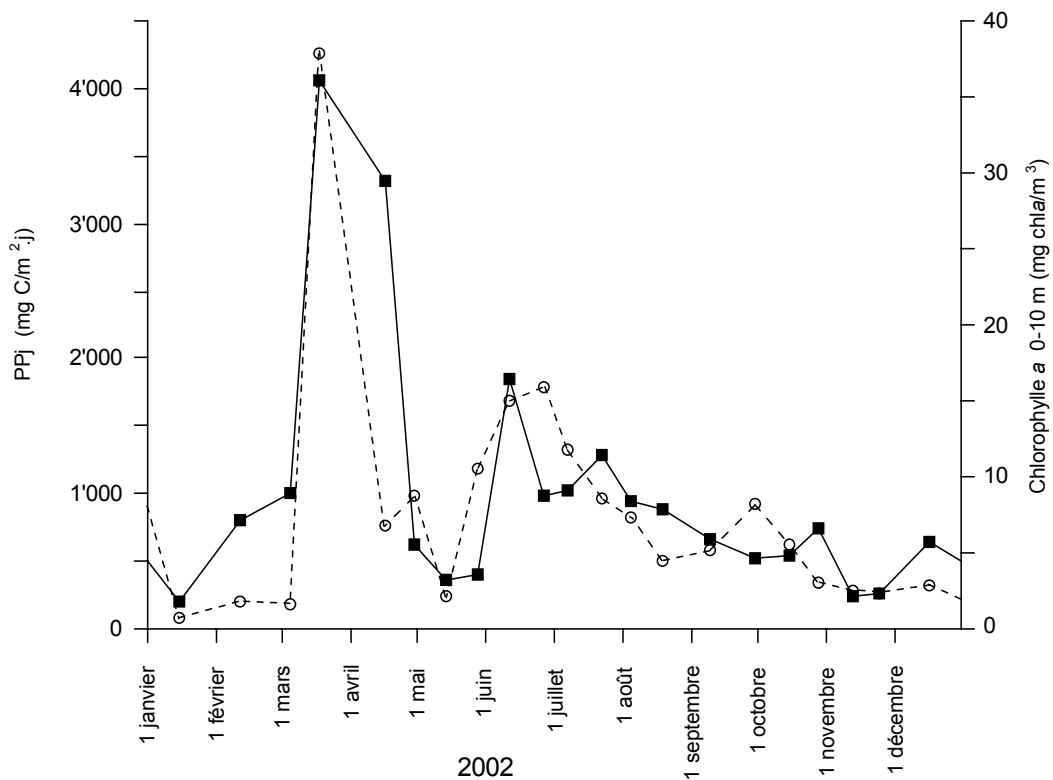


Figure 2 : Évolutions comparées de la production primaire par unité de surface (traits pleins, carrés noirs) et de la biomasse totale intégrée sur les dix premiers mètres (traits pointillés, cercles blancs) au cours de l'année 2002 au point SHL2

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 circles) during the year 2002 at the SHL2 station



La répartition de la biomasse phytoplanctonique, exprimée en  $\text{mg chl}a/\text{m}^2$ , 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.

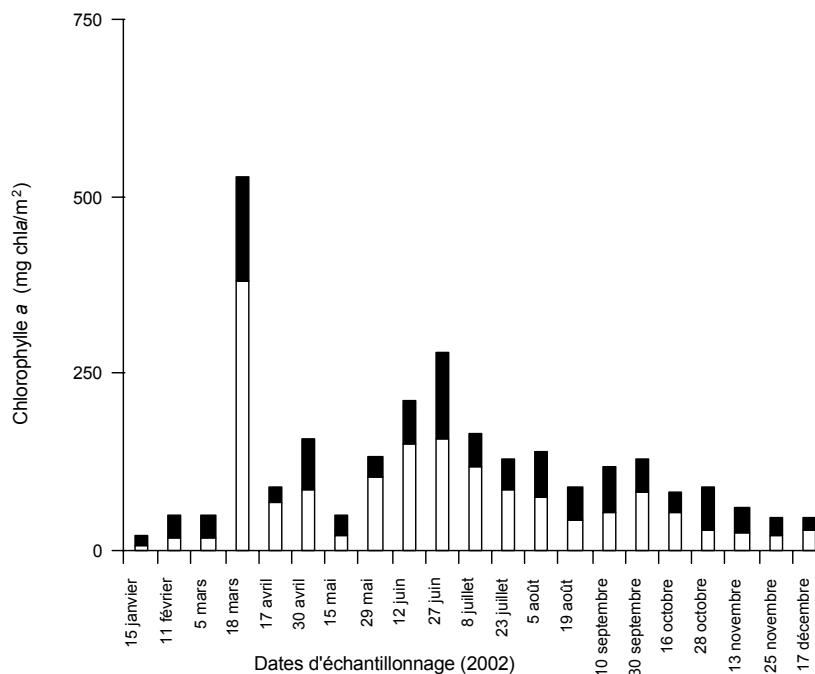


Figure 3 : Évolution des biomasses chlorophylliennes intégrées, au cours de l'année 2002, dans les dix premiers mètres (barres inférieures vides) et dans la couche 10-30 m (barres supérieures pleines) au point SHL2

Figure 3 : Dynamics of the integrated chlorophyll biomass, during the 2002 survey, in the top ten meters (lower open bars) and in the 10-30 m layer (upper filled bars) at the SHL2 station

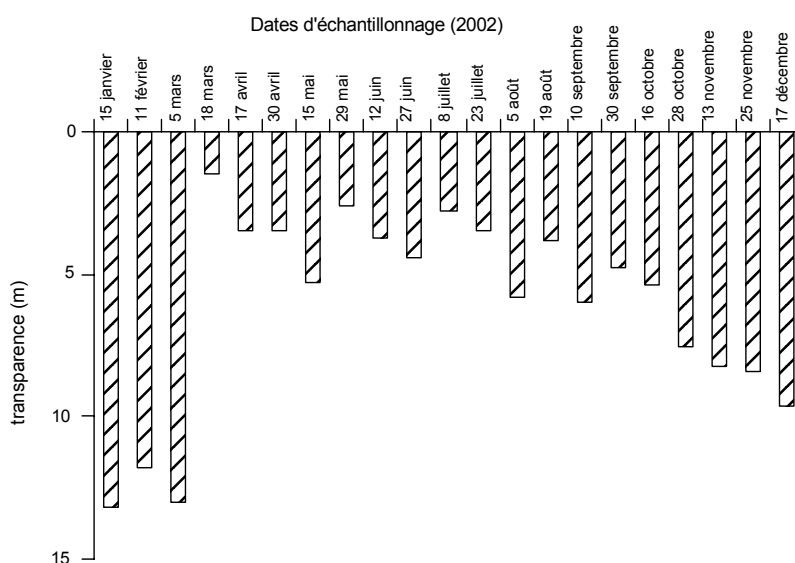


Figure 4 : Évolution de la transparence, mesurée comme profondeur de disparition du disque de Secchi, au cours de l'année 2002 au point SHL2

Figure 4 : Changes in the transparency, expressed as the Secchi depth, during the 2002 survey at the SHL2 station

### 3.3 Production annuelle

Le calcul de la production annuelle nette cumulée donne une valeur assez faible ( $232 \text{ gC/m}^2 \cdot \text{an}$ ), soit l'équivalent de 61 % de celle calculée pour l'année 2001 (LEBOULANGER, 2002). Malgré les records de production enregistrés au mois de mars, l'absence de tout regain de biomasse phytoplanctonique pendant le reste de l'année 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 31 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.

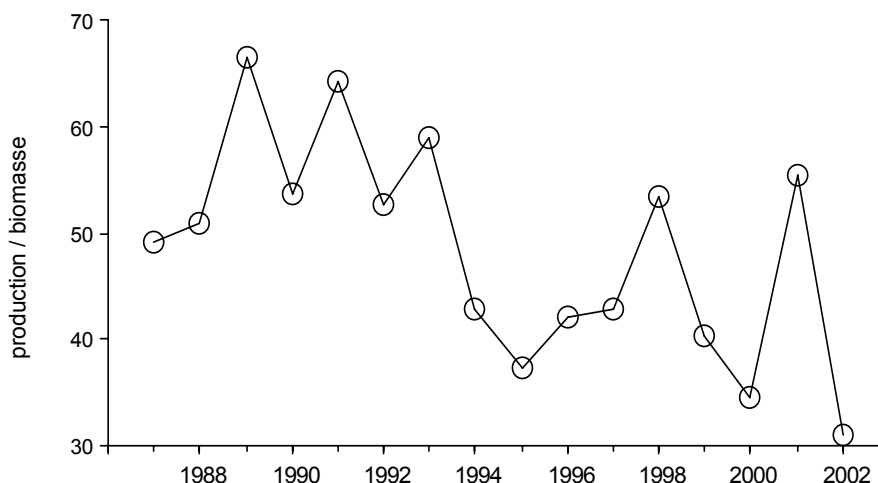


Figure 5 : Évolution au cours des quinze dernières années de la productivité pélagique, exprimée par le rapport production annuelle sur biomasse chlorophyllienne moyenne dans la couche 0-10 m au point SHL2

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

## 4. CONCLUSIONS

L'année 2002 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 élevée et très productive, les mesures du 18 mars étant parmi les plus hautes jamais enregistrées depuis des années. Encore une fois, le phytoplancton colonise les couches d'eau les plus profondes, montrant des abondances significatives au delà 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.

## 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.
- DRUART, J.C., LAVIGNE, S. et PERFETTA, J. (2003) : Évolution du phytoplancton du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2002, 69-83.
- LAZZAROTTO, J., RAPIN, F. et CORVI, C. (2003) : Évolution 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.
- LEBOULANGER, C. (2002) : Évolution de la production phytoplanctonique dans le Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2001, 61-69.
- 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 ( $^{14}\text{C}$ ) 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 PHYTOPLANKTON DU LÉMAN

## CHANGES IN THE PHYTOPLANKTON OF LAKE GENEVA

Campagne 2002

PAR

**Jean-Claude DRUART**

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

**Sophie LAVIGNE et Jean PERFETTA**

SERVICE CANTONAL DE L'ÉCOLOGIE DE L'EAU, C.P. 78, CH - 1211 GENÈVE 8

### RÉSUMÉ

*Au cours de l'année 2002, vingt et un prélèvements de phytoplancton (couche 0-20 m) ont été réalisés dans le Grand Lac et 12 dans le Petit Lac. La biomasse moyenne annuelle, qui avait connu une très grande augmentation en 2001 avec 4'976 mg/m<sup>3</sup>, a été estimée à 2'747 mg/m<sup>3</sup> en 2002, se rapprochant ainsi des valeurs plus habituelles pour le Léman.*

*Le nombre des taxons a augmenté (de 91 à 119), mais celui des espèces dominantes (9) est resté le même. Parmi ces 9 espèces, 6 étaient déjà présentes en 2001, mais dans des proportions nettement plus faibles.*

*La tendance observée depuis ces dernières années d'un rapport des biomasses printanières aux biomasses estivales (BP/BE) relativement faible n'apparaît pas en 2002; cela traduit, d'une part, l'augmentation des biomasses printanières (BP) et d'autre part, des biomasses estivales (BE) sans valeurs excessives.*

*Le pic de la biomasse printanière qui a normalement lieu en avril s'est produit un mois plus tôt en 2002. Cette perturbation d'ordre chronologique va dans le sens de ce qu'a décrit ANNEVILLE et al. (2001) au sujet du modèle saisonnier des successions phytoplanctoniques du Léman.*

*Enfin, l'année 2002 n'a pas présenté de développement phytoplanctonique estival majeur comme cela a été le cas en 2001.*

### ABSTRACT

*During 2002, 21 phytoplankton samples (0-20 m layer) were taken from the Grand Lac and 12 from the Petit Lac. The mean annual biomass, which had undergone a very marked increase in 2001 to a value of 4'976 mg/m<sup>3</sup>, was estimated at 2'747 mg/m<sup>3</sup> in 2002, which brought it back to the more usual range of values for Lake Geneva.*

*The number of taxons had increased (from 91 to 119), whereas the number of dominant species (9) remained the same. Six of these 9 dominant species had already been found in 2001, but in much smaller proportions.*

*The trend that had been observed in recent years towards a relatively low ratio of the springtime biomass to the summer biomass (SPB/SUB) was not found in 2002; this reflected increases in the spring biomass (SPB) and in addition a summer biomass (SUB) with no excessive values.*

*The Springtime Biomass peak, which normally occurs in April occurred a month earlier in 2002. This chronological shift corresponds to that reported by ANNEVILLE et al. (2001) with regard to the seasonal model of phytoplankton succession in Lake Geneva.*

*Finally, there was no major phytoplankton bloom in the summer of 2002, whereas there had been in 2001.*

## 1. INTRODUCTION

Comme les années précédentes, l'étude du phytoplancton est réalisée aux stations SHL2 (Grand Lac - coord. CH : 534.70 / 144.95) et GE3 (Petit Lac - coord. CH : 506.10 / 128.04). Elle comprend les analyses de l'évolution qualitative et quantitative des peuplements phytoplanctoniques.

La biomasse chlorophyllienne et la production primaire (LEBOULANGER, 2003), ainsi que l'évolution du zooplancton (BALVAY, 2003) font l'objet de chapitres séparés.

## 2. MÉTHODES

Le phytoplancton est étudié à partir d'échantillons d'eau intégrés de la couche 0-20 m. Ces prélèvements sont effectués à la station SHL2 avec un appareil intégrateur d'eau brute et à la station GE3 avec un tuyau lesté de 20 m de longueur.

Le choix de la couche 0-20 m est le résultat des études comparatives menées en 2000 et 2001 sur un double échantillonnage 0-10 m et 0-20 m (LAVIGNE et DRUART, 2002).

Les comparaisons interannuelles présentées dans ce rapport concernent donc des profondeurs différentes (0-10 m ou 0-20 m). Toutefois, comme les biomasses phytoplanctoniques sont sensiblement identiques dans les strates 0-10 m et 0-20 m (LAVIGNE et DRUART, *op. cit*), la comparaison de résultats appartenant à l'une et l'autre couche d'eau est possible.

Dans le Grand Lac, la campagne a comporté 21 prélèvements répartis sur l'année, à raison d'un prélèvement par mois en janvier, février et décembre, et de deux prélèvements par mois entre mars et novembre. Dans le Petit Lac (station GE3), 12 campagnes ont été effectuées, à raison d'un prélèvement par mois.

L'examen qualitatif et quantitatif se fait au microscope inversé, après fixation au lugol et concentration des organismes par sédimentation en chambre d'Utermöhl. La biomasse est calculée par addition des biovolumes cellulaires, et exprimée en poids de matière fraîche par mètre cube d'eau (UTERMÖHL, 1958).

Entre mars et novembre, les valeurs mensuelles pour le Grand Lac (SHL2) sont le résultat de deux prélèvements.

Les moyennes annuelles sont calculées à partir de l'ensemble des prélèvements de l'année.

## 3. RÉSULTATS

### 3.1 Le Grand Lac (SHL2)

#### 3.1.1 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 termes de biomasse totale, microplanctonique (longueur de la cellule ou de la colonie > 50 µm et volume > 10'000 µm<sup>3</sup>) et nanoplanctonique (longueur de la cellule ou de la colonie < 50 µm et volume < 10'000 µm<sup>3</sup>).

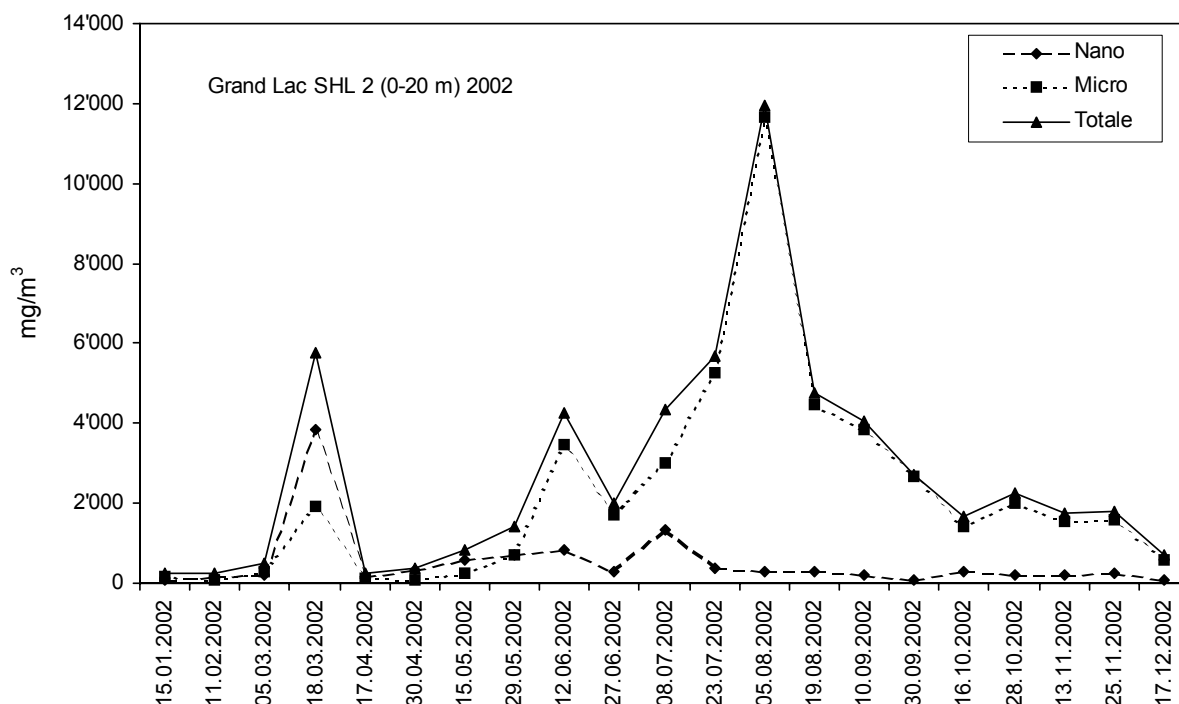


Figure 1 : Variations des biomasses totale, microplanctonique et nanoplanctonique du phytoplancton dans le Grand Lac en 2002

Figure 1 : Changes in the total microplankton and nanoplankton biomass in the phytoplankton in the Grand Lac in 2002

En 2002, la biomasse phytoplanctonique présente trois pics caractérisés les 18 mars, 12 juin et 5 août. Si la biomasse du 18 mars est en grande partie nanoplanctonique, les deux pics suivants sont principalement le fait du microplancton. Le nanoplancton ne présente donc qu'un pic important le 18 mars et un second, nettement moins marqué, le 8 juillet. Avec 18.6 % de moyenne annuelle, la part du nanoplancton est toutefois en augmentation par rapport à l'année précédente (5 %). Le microplancton présente trois pics les 18 mars, 12 juin et 5 août; ce dernier, le plus important, est principalement attribuable à *Pseudosphaerocystis lundii*.

- la **phase hivernale** (de début janvier au 5 mars et décembre 2002) se caractérise par un retour à un plus faible développement algal; en effet, la moyenne pour les trois premiers prélèvements est de 346 mg/m<sup>3</sup>. En 2001, cette moyenne atteignait plus du triple (1'090 mg/m<sup>3</sup>). En 2002, la phase hivernale est dominée par trois taxons : *Planktothrix rubescens* (21 %), *Stephanodiscus neoastraea* (17 %) et *Fragilaria crotonensis* (11 %).

En fin d'année (17/12/2002), *Planktothrix rubescens* est toujours l'espèce dominante (21 %), mais avec *Microcystis delicatissima* (17 %) et *Asterionella formosa* (17 %).

- la **phase printanière** (18 mars - 30 avril) est un peu différente de celle des autres années puisque, après le pic du 18 mars, les espèces nanoplanctoniques typiques (*Rhodomonas minuta* et sa variété *nannoplanctica*) ne domineront plus, si ce n'est le 30 avril. On observe à nouveau de faibles biomasses (entre 261 et 815 mg /m<sup>3</sup>). A noter la disparition quasi totale de *Tabellaria flocculosa* qui constituait depuis novembre 2000 un élément très important du phytoplancton.

Le 18 mars, on observe une brusque augmentation de la biomasse phytoplanctonique avec 5'767 mg/m<sup>3</sup>, valeur beaucoup plus forte que celle de l'année précédente (490 mg/m<sup>3</sup>). Ce premier pic annuel est caractérisé par une dominance d'espèces nanoplanctoniques et se traduit par une brusque diminution de la concentration du PO<sub>4</sub> en surface à cette période (20 µgP/L le 5 mars et 0 µgP/L le 18 mars).

- après la **phase des eaux claires**, observée très faiblement le 15 mai (transparence de 5.35 m et biomasse de 815 mg /m<sup>3</sup>), la **phase estivale** (29 mai - 5 août) est nettement observable dès le 12 juin avec une biomasse de 4'278 mg/m<sup>3</sup>. Elle est dominée par *Fragilaria crotonensis* (1'491 mg/m<sup>3</sup>) et *Dinobryon sociale* (748 mg/m<sup>3</sup>). A noter un pic important le 5 août (11'946 mg/m<sup>3</sup>) dominé par *Pseudosphaerocystis lundii* (7'375 mg/m<sup>3</sup>). C'est la première fois que cette espèce montre un tel développement dans le Léman. *Mougeotia gracillima*, *Microcystis delicatissima* et *Ceratium hirundinella*, quant à elles, ont des valeurs se situant entre 1'400 et 1'970 mg/m<sup>3</sup>.
- la **phase automnale** (19 août - 25 novembre) est caractérisée par un développement important de la cyanobactérie *Planktothrix rubescens*, avec des maxima observés entre le 19 août (1'605 mg/m<sup>3</sup>) et le 10 septembre (1'536 mg/m<sup>3</sup>). Sa présence perdurera jusqu'à la fin de l'année. Notons également que *Diatoma tenuis* marque sa présence d'août à la mi-octobre.

Si, en 2001, la petite diatomée centrique *Stephanodiscus minutulus* avait pratiquement disparu de la population algale du Léman, il n'en est pas de même cette année puisqu'elle atteint à nouveau plus de 1.2 % de la biomasse totale annuelle.

Comme l'illustrent le tableau 1 et la figure 2, la biomasse moyenne printanière est légèrement supérieure à celle de l'année précédente. Cette augmentation s'explique par l'importance du pic observé le 18 mars.

Tableau 1 : Biomasses phytoplanctoniques (mg/m<sup>3</sup>) de 1997 à 2002 (SHL2, 0-10 m et 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/m<sup>3</sup>) from 1997 to 2002 (SHL2, 0-10 m and 0-20 m)  
BP = from January to the clear water phase; BE = from the clear water phase to December

| Année                                | 1997        | 1998       | 1999       | 2000        | 2001        | 2002        |
|--------------------------------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| Biomasse annuelle moyenne            | 2'677       | 2'435      | 2'015      | 2'266       | 4'976       | 2'747       |
| Biomasse printanière moyenne (BP)    | 750         | 769        | 952        | 659         | 967         | 1'183       |
| Biomasse estivale moyenne (BE)       | 3'448       | 3'204      | 2'395      | 3'255       | 6'938       | 3'530       |
| Rapport BP / BE                      | 22          | 24         | 0.40       | 0.20        | 0.13        | 0.34        |
| Biomasse printanière maximale (mois) | 1'977 (04)  | 1'813 (04) | 2'703 (04) | 2'650 (04)  | 1'541 (04)  | 5'767 (03)  |
| Biomasse estivale maximale (mois)    | 10'347 (09) | 9'010 (08) | 9'187 (08) | 22'258 (08) | 26'848 (08) | 11'946 (08) |

L'année 2001 avait présenté des valeurs hors du commun, avec une biomasse estivale moyenne (BE) atteignant près de 7'000 mg/m<sup>3</sup> et une biomasse moyenne annuelle frôlant les 5'000 mg/m<sup>3</sup>.

En 2002, la biomasse annuelle moyenne, avec 2'747 mg/m<sup>3</sup>, est revenue à des valeurs plus habituelles pour le Léman, ces valeurs étant normalement comprises entre 2'000 et 2'600 mg/m<sup>3</sup>. La biomasse estivale moyenne (BE) est de 3'530 mg/m<sup>3</sup> et correspond sensiblement à ce qui est enregistré depuis 1996 (exception faite de 2001).

La valeur du rapport de la biomasse printanière à la biomasse estivale (BP/BE) quant à elle, remonte fortement (0.34 contre 0.13 l'année précédente). Le rapport BP/BE 2002 renverse donc la tendance à la baisse de ces deux dernières années.

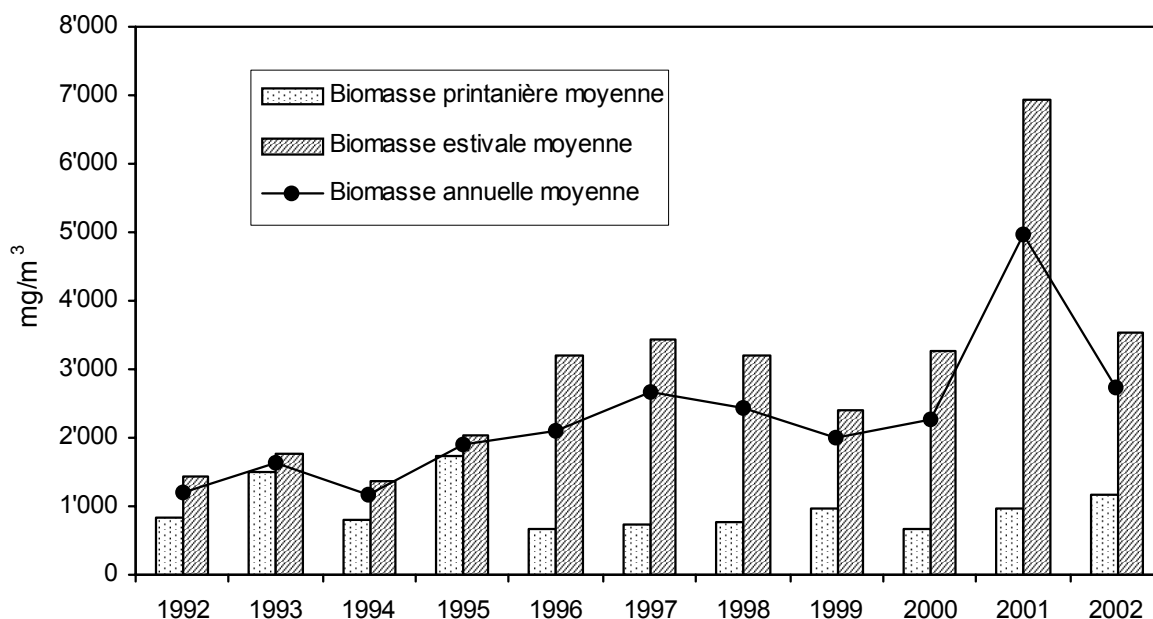


Figure 2 : Évolution des biomasses printanière, estivale et annuelle moyenne dans le Léman (SHL2) de 1992 à 2002

Figure 2 : Change in the Springtime, Summer and Mean Annual Biomass in Lake Geneva (SHL2) from 1992 to 2002

### 3.1.2 Richesse taxonomique

119 taxons ont été identifiés à la station SHL2 en 2002, soit 28 de plus que l'année précédente (91). C'est surtout le nombre d'espèces du microplancton qui a fortement augmenté.

Douze nouveaux taxons ont été recensés en 2002 (voir planche photo en annexe) :

- quatre cyanobactéries filamenteuses ou coloniales : *Achroonema articulatum*, *Aphanocapsa holsatica*, *Oscillatoria geminata* et un taxon non identifié appartenant au groupe des radiococaccées,
- une dinophycée : *Woloszynskia pseudopalustre*,
- deux chrysophycées : *Chrysolykos angulatum* et *Sphaerocea volvox* (cette dernière uniquement à la station GE3),
- quatre chlorophycées : *Dictyosphaerium cf. subsolitarium*, *Monoraphidium convolutum*, *Planktonema lauterbornii*, *Trochiscia planctonica*.

L'évolution de la richesse taxonomique entre 1992 et 2002 est présentée à la figure 3.

Les résultats pour 2002 montrent une inversion de la tendance à la diminution observée entre 1998 et 2001, sans toutefois retrouver les valeurs observées entre 1992 et 1995.



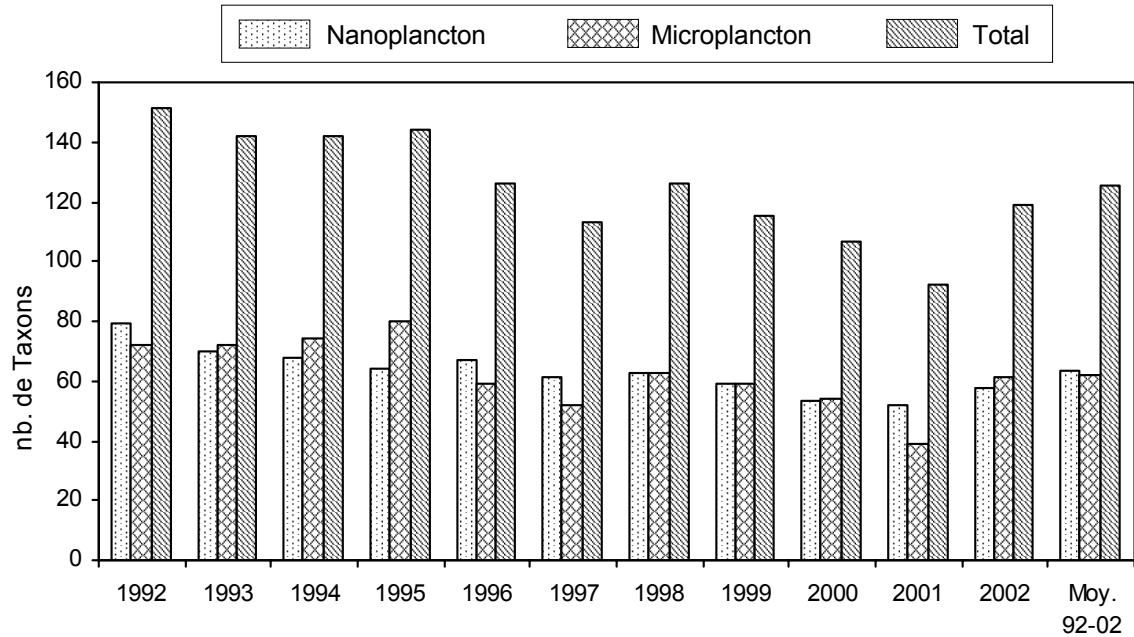


Figure 3 : Nombre de taxons (total, micro- et nanoplancton) observés à la station SHL2 entre 1992 et 2002 et moyennes pour la période

Figure 3 : Number of taxons (total, micro- and nanoplankton) observed at the SHL2 station between 1992 and 2002 and the mean values for the period

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

La répartition des taxons entre les différentes classes d'algues ainsi que leur appartenance au nanoplancton ou au microplancton en 2002 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 2002

Table 2 : Distribution of the number of taxons between total, micro- and nanoplankton in the various algal classes at the SHL2 station in 2002

| Classe         | Microplancton | Nanoplancton | Total |
|----------------|---------------|--------------|-------|
| Cyanobactéries | 15            | 0            | 15    |
| Dinophycées    | 5             | 4            | 9     |
| Cryptophycées  | 0             | 6            | 6     |
| Chrysophycées  | 4             | 5            | 9     |
| Xanthophycées  | 0             | 0            | 0     |
| Diatomées      | 13            | 18           | 31    |
| Chlorophycées  | 17            | 25           | 42    |
| Conjugées      | 7             | 0            | 7     |
| Total          | 61            | 58           | 119   |

La figure 4 présente l'évolution des biomasses relatives des deux groupes de taille entre 1992 et 2002. Malgré une augmentation de la part du nanoplancton par rapport à 2001, les proportions de 2002 restent dans la fourchette des valeurs observées depuis 1996.

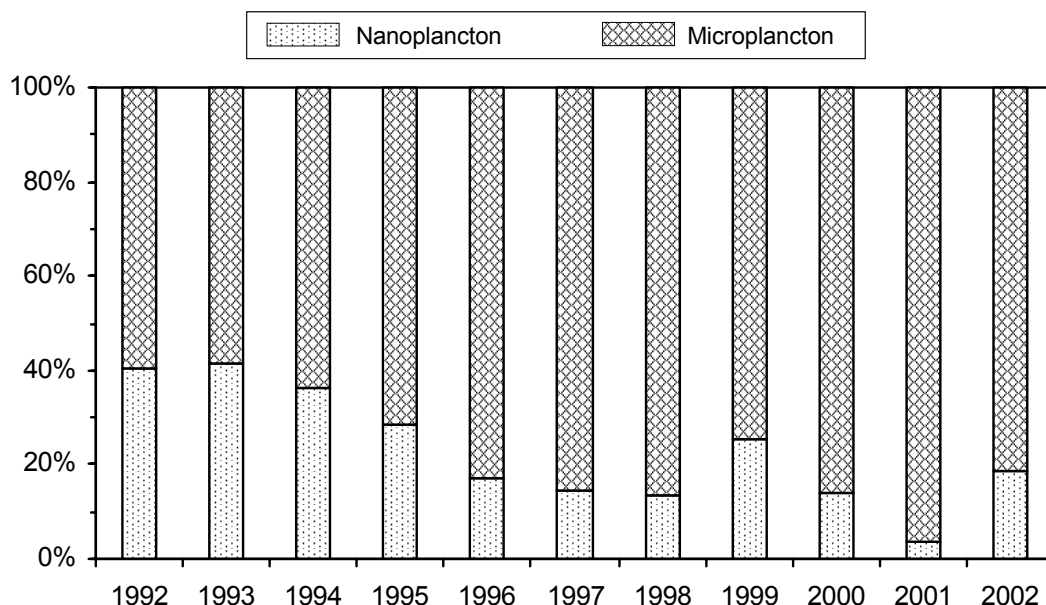


Figure 4 : Biomasses relatives du nano- et du microplancton de 1992 à 2002 à la station SHL2

Figure 4 : Relative biomass of the nano- and microplankton from 1992 to 2002 at the SHL2 station

Le tableau 3 compare les biomasses pour les différentes classes algales en 2001 et 2002.

Tableau 3 : Biomasses moyennes ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) des différentes classes d'algues en 2001 et 2002 à la station SHL2.

Table 3 : Mean biomass ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) of the various algal classes in 2001 and 2002 at the SHL2 station.

| Classe         | 2001  | 2002  |
|----------------|-------|-------|
| Cyanobactéries | 302   | 557   |
| Dinophycées    | 181   | 358   |
| Cryptophycées  | 168   | 224   |
| Chrysophycées  | 210   | 273   |
| Xanthophycées  | 40    | 0     |
| Diatomées      | 1'536 | 610   |
| Chlorophycées  | 108   | 518   |
| Conjugées      | 2'280 | 206   |
| Total          | 4'825 | 2'746 |

Sur la base des tableaux 2 et 3, les commentaires suivants peuvent être faits pour les différentes classes :

- **Cyanobactéries** : en 2002, forte augmentation du nombre de taxons microplanctoniques (de huit à quinze) et importante augmentation de la biomasse moyenne (de 302 mg/m<sup>3</sup> à 557 mg/m<sup>3</sup>).
- **Dinophycées** : nombre de taxons stable, mais hausse significative de la biomasse (358 mg/m<sup>3</sup> en 2002 contre 181 mg/m<sup>3</sup> en 2001).
- **Cryptophycées** : de quatre à six taxons nanoplanctoniques et légère augmentation de la biomasse (de 168 à 224 mg/m<sup>3</sup>).
- **Chrysophycées** : nombre d'espèces stable (neuf taxons contre huit en 2001), et légère hausse de la biomasse (273 mg/m<sup>3</sup> contre 210).
- **Xanthophycées** : groupe en cours de révision; les filaments rencontrés jusqu'à présent, attribués au genre *Tribonema*, pourraient appartenir au genre *Ulothrix* (Chlorophycées).
- **Diatomées** : dix nouveaux taxons (deux microplanctoniques et huit nanoplanctoniques), mais forte chute de la biomasse : 610 mg/m<sup>3</sup> contre 1'536 mg/m<sup>3</sup> en 2001.
- **Chlorophycées** : 12 nouvelles espèces microplanctoniques, mais 2 espèces nanoplanctoniques en moins; augmentation significative de la biomasse moyenne (518 mg/m<sup>3</sup> en 2002 contre 108 mg/m<sup>3</sup> en 2001).
- **Conjuguées** : nombre de taxons identique; retour à des biomasses moyennes (206 mg/m<sup>3</sup>) après une hausse spectaculaire en 2001 (2'280 mg/m<sup>3</sup>).

La figure 5 montre qu'en 2002, la répartition des biomasses des différentes classes d'algues au sein de la biomasse totale, est significativement différente de celle de l'année précédente.

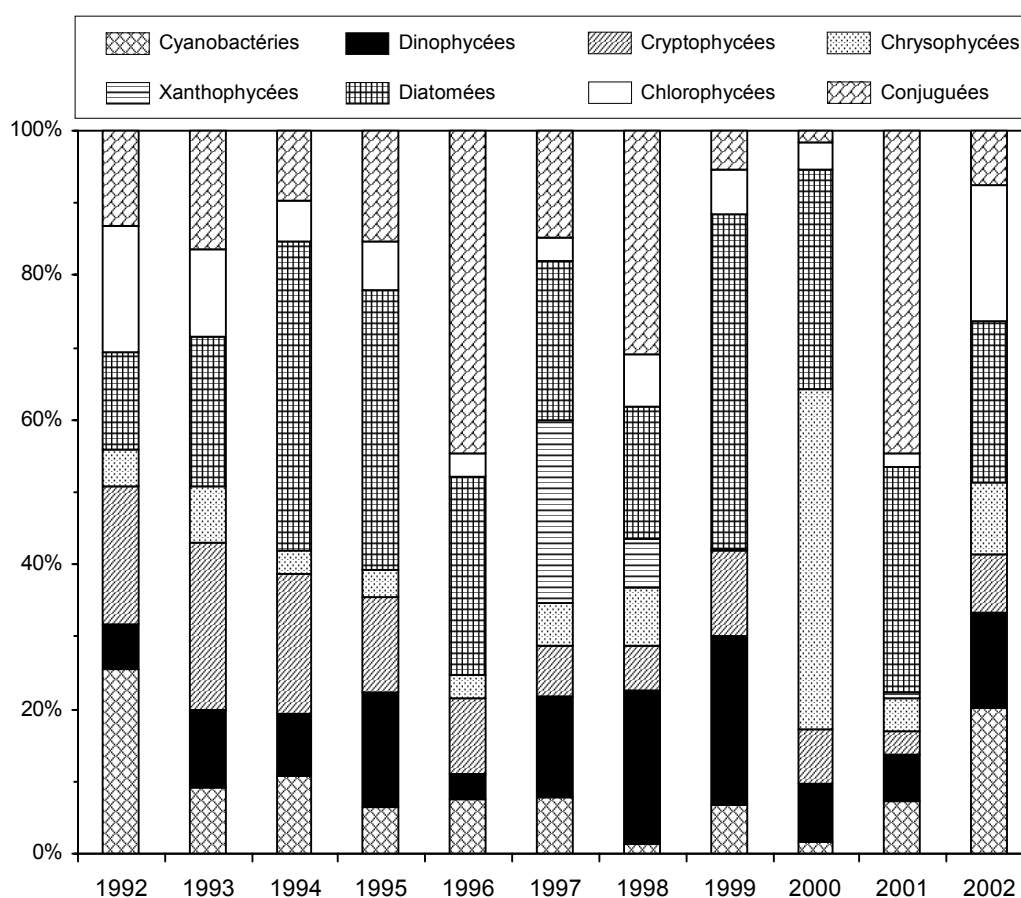


Figure 5 : Biomasses relatives des différentes classes d'algues de 1992 à 2002 à la station SHL2

Figure 5 : Relative biomass of the various algal classes from 1992 to 2002 at the SHL2 station

En 2002, trois classes d'algues dominent avec des valeurs proches : les diatomées (22 %), les cyanobactéries (20 %) et les chlorophycées (19 %). En 2001, ces trois classes représentaient respectivement 31 %, 7 % et 2.1%. A noter la diminution importante des conjuguées, qui passent de 45 % en 2001 à 7.5 % en 2002.

Ces résultats confirment la grande variabilité interannuelle des biomasses relatives, déjà relevée dans les précédents rapports (DRUART *et al.* 2001).

### 3.1.4 Contribution des principales espèces

En 2002, sur 119 espèces inventoriées, cinq sont considérées comme très abondantes (> 6 % de la biomasse totale annuelle) et constituent plus de 50 % de la biomasse totale (tableau 4).

15 autres espèces sont abondantes (entre 1 % et 6 % de la biomasse totale annuelle), quatre d'entre elles ont une biomasse se situant entre 4 % et 6 %. En tout, neuf taxons représentent donc près de 71 % de la biomasse totale annuelle (voir tableau 4).

En 2001, les espèces principales étaient également au nombre de 9, mais représentaient 98 % de la biomasse annuelle. Les deux espèces *Mougeotia gracillima* et *Diatoma tenuis* qui, en 2001, occupaient à elles seules 75 % de cette biomasse, ont fortement régressé et ne représentent respectivement plus que 5.9 % et 5.6 % en 2002.

Les espèces principales étaient au nombre de 12 en 2000, et encore plus nombreuses en 1999 (23). L'évolution des espèces dominantes depuis 1996 est présentée en annexe.

Tableau 4 : Biomasse annuelle relative des neuf principaux taxons en 2002 (SHL2, 0-20 m)

Table 4 : Annual relative biomass of the nine dominant taxons in 2002 (SHL2, 0-20 m)

| Espèces                           | %      |
|-----------------------------------|--------|
| <i>Pseudosphaerocystis lundii</i> | 13.2 % |
| <i>Planktothrix rubescens</i>     | 10.9 % |
| <i>Ceratium hirundinella</i>      | 10.6 % |
| <i>Fragilaria crotonensis</i>     | 8.0 %  |
| <i>Dinobryon sociale</i>          | 7.8 %  |
| <i>Mougeotia gracillima</i>       | 5.9 %  |
| <i>Diatoma tenuis</i>             | 5.6 %  |
| <i>Rhodomonas minuta</i>          | 4.7 %  |
| <i>Microcystis delicatissima</i>  | 4.2 %  |
| Total                             | 70.8 % |

### 3.1.5 Succession des espèces

En 2002, on peut relever les éléments suivants au sujet de la succession des espèces principales, présentée dans la figure 6 :

- *Pseudosphaerocystis lundii* est une chlorophycée coloniale gélatineuse présente de longue date dans le Léman. On la retrouve généralement de façon sporadique tout au long de l'année. En 2002, elle montre un très fort développement le 5 août ( $7'375 \text{ mg/m}^3$ ). C'est la première fois que ce phénomène se produit. Les connaissances actuelles ne permettent pas d'apporter d'explication à ce bloom estival.
- *Planktothrix rubescens* (anciennement *Oscillatoria rubescens*), une cyanobactérie filamenteuse typique de milieux eutrophes, montre un développement quasi permanent en 2002 à la station SHL2, avec un léger pic entre le 19 août et le 10 septembre ( $1'605$  et  $1'530 \text{ mg/m}^3$ ). Durant la période pré-automnale, elle domine le peuplement algal. Depuis 1997, c'est la première fois qu'elle atteint des valeurs de cette ampleur (cf. annexe).
- *Ceratium hirundinella* préfère des eaux relativement chaudes. Elle est observée à partir de fin mai, augmente jusqu'au cœur de l'été et perdure jusqu'au début de l'hiver (les températures moyennes les plus élevées se situent entre mi-juin et fin novembre). En 2001, elle occupait environ 3.5 % de la biomasse totale relative contre 11 % en 2002.
- *Fragilaria crotonensis* se rencontre généralement au début de l'été, quand les eaux sont pauvres en silice. En 2002, elle se développe très précocement à la fin de l'hiver (18 mars) et succède aux petites diatomées centriques. Un second pic est observé au début de l'été ( $1491 \text{ mg/m}^3$  le 12 juin).
- *Dinobryon sociale* apparaît le 15 mai et présente un pic ( $1'596 \text{ mg/m}^3$ ) le 5 août, lorsque le phosphore biodisponible est au minimum. Ce comportement s'explique par le caractère mixotrophe de cette espèce (ANNEVILLE *et al.*, 2001).
- *Mougeotia gracillima* et *Diatoma tenuis*, qui avaient produit de grandes biomasses en 2001, ont très fortement régressé en 2002. Elles sont présentes de façon assez régulière avec pour la première, un pic ( $1'970 \text{ mg/m}^3$ ) le 23 juillet et pour la seconde, un pic moins marqué ( $1'253 \text{ mg/m}^3$ ) le 30 septembre.
- *Rhodomonas minuta* atteint une biomasse de  $1'721 \text{ mg/m}^3$  le 18 mars. Sinon, elle présente des valeurs modestes en avril et mai.
- Enfin parmi les autres espèces dominantes, il faut noter l'apparition le 27 juin de la cyanobactérie coloniale *Microcystis delicatissima*, qui montre un important développement le 23 juillet ( $1'545 \text{ mg/m}^3$ ).

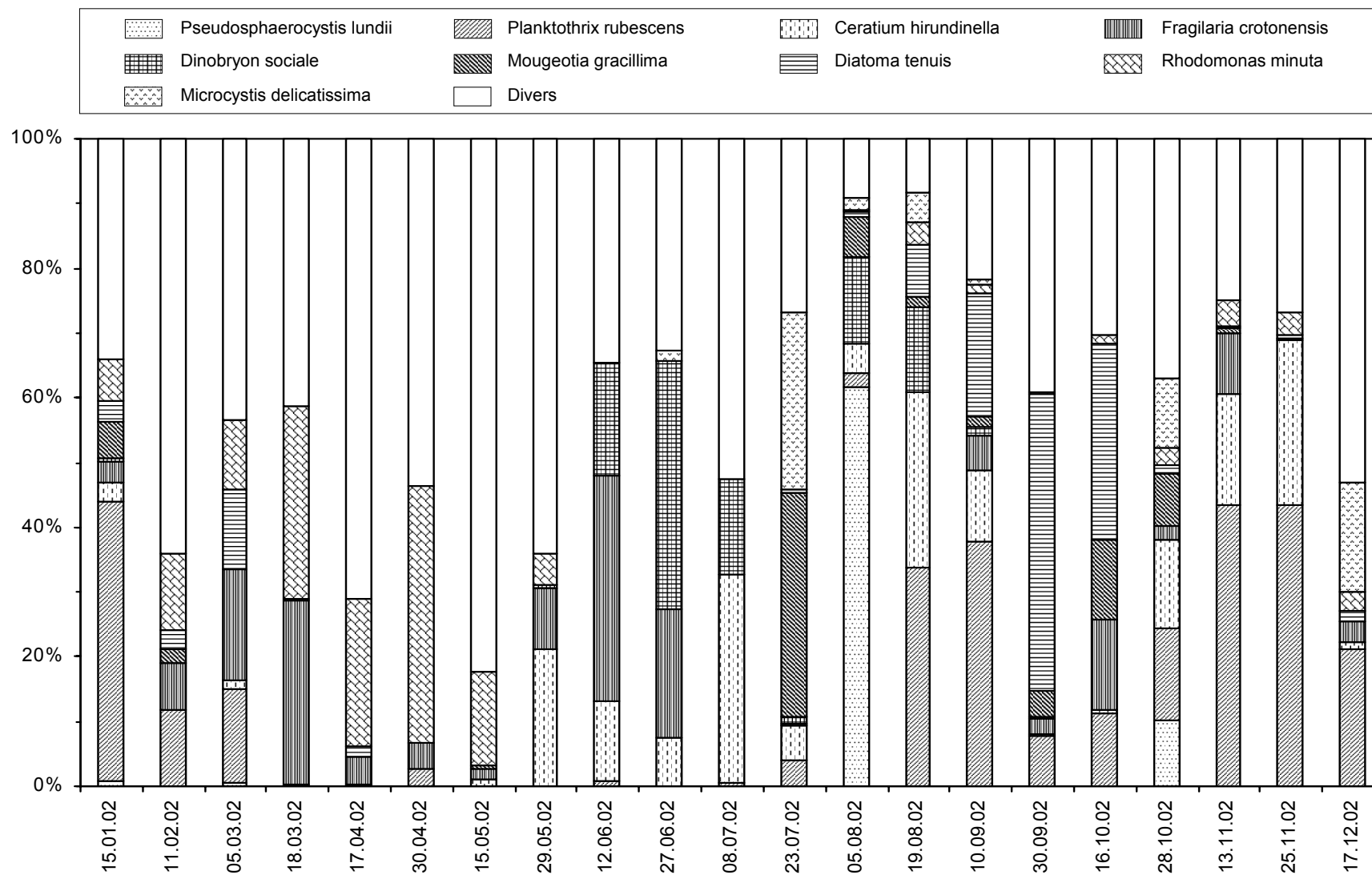


Figure 6 : Biomasses relatives mensuelles des neuf taxons dominants à la station SHL2 en 2002

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

### 3.2 Le Petit Lac (station GE3)

#### 3.2.1 Biomasses et variations saisonnières

Les biomasses moyenne annuelle et estivale ont, comme dans le Grand Lac, considérablement baissé par rapport à 2001 (tableau 5). En revanche, la biomasse printanière est restée stable et le rapport BP/BE a donc légèrement augmenté.

Le nanoplancton représente 27 % de la biomasse totale en 2002 et a dominé la période printanière. Les principaux taxons sont, par ordre d'importance : *Chlamydomonas* spp.(5.5 %), *Rhodomonas minuta* (5.2 %), *Cryptomonas* spp. (3.1 %) et *Aphanocapsa grevillei* (2.4 %).

Tableau 5 : Biomasses (mg/m<sup>3</sup>) en 2001 (0-10 m) et 2002 (0-20 m) à la station GE3

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

Table 5 : Biomass (mg/m<sup>3</sup>) in 2001 (0-10 m) and 2002 (0-20 m) at the GE3 station

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

| Année                               | 2001        | 2002       |
|-------------------------------------|-------------|------------|
| Biomasse annuelle moyenne           | 3'428       | 1'545      |
| Biomasse printanière moyenne (BP)   | 993         | 946        |
| Biomasse estivale moyenne ((BE)     | 5'186       | 3'926      |
| BP / BE                             | 0.19        | 0.24       |
| Biomasse printanière maximum (mois) | 1'525 (02)  | 592 (03)   |
| Biomasse estivale maximum (mois)    | 21'216 (08) | 3'127 (08) |
| % biomasse moyenne nanoplancton     | 10          | 27         |

Les espèces présentant les plus forts pourcentages de biomasse annuelle appartiennent au microplancton : *Fragilaria crotonensis* (14 %), *Planktothrix rubescens* (12 %) puis *Ceratium hirundinella* et *Micractinium pusillum* avec 7 % .

Les phases saisonnières (figure 7) sont légèrement différentes de ce qui a été observé dans le Grand Lac (figure 1) : le pic enregistré en mars à SHL2 n'apparaît pas de façon aussi marquée. De plus, le très fort développement observé le 5 août dans le Grand Lac se produit de façon beaucoup plus atténuée le 12 août dans le Petit Lac. Enfin, le petit pic du nanoplancton observé en novembre dans le Petit Lac ne se produit pas dans le Grand Lac. Le décalage des observations pourrait expliquer les différences observées entre les 2 stations.

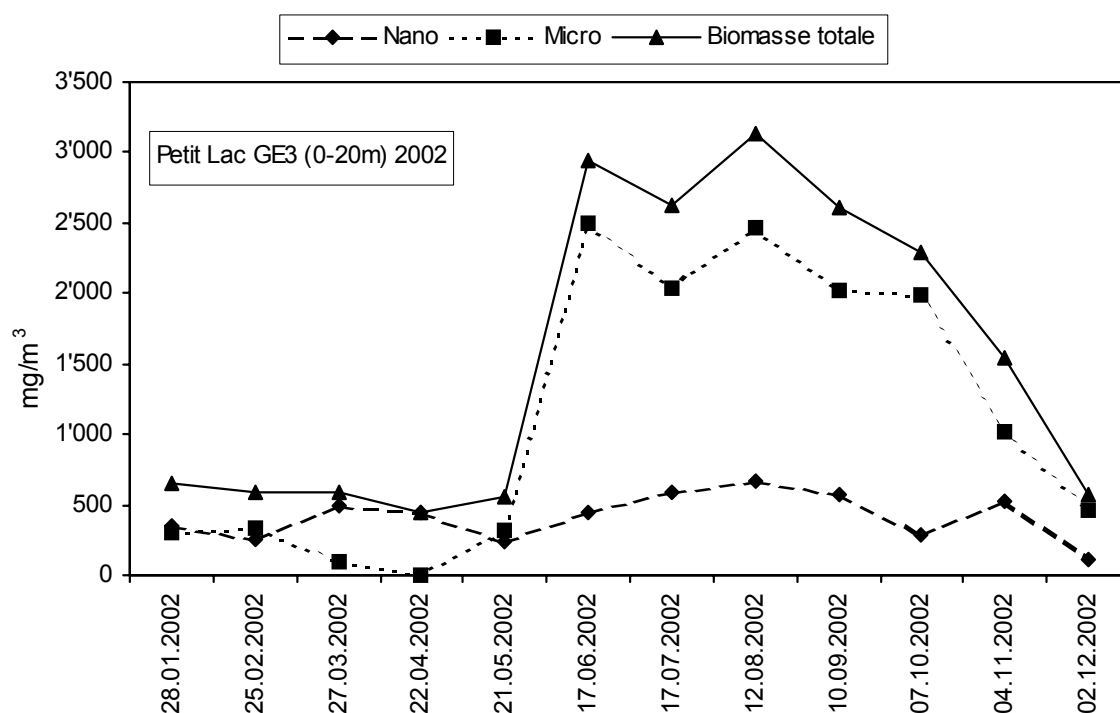


Figure 7 : Variation des biomasses totale, micro- et nanoplanctonique du phytoplancton à la station GE3 en 2002 (0-20 m)

Figure 7 : Changes in the total, micro- and nanoplankton biomass in the phytoplankton at the GE3 station in 2002 (0-20 m)

### 3.2.2 Richesse taxonomique

Malgré quelques petites différences dans la composition spécifique et dans la chronologie de l'apparition des espèces, les populations phytoplanctoniques du Petit Lac et du Grand Lac sont très semblables en 2002 (tableau 6).

Tableau 6 : Biomasses relatives (%) des différentes classes d'algues dans le Petit Lac (GE3) et dans le Grand Lac (SHL2) en 2002.

Table 6 : Relative biomass (%) of the various algal classes in the Petit Lac (GE3) and in the Grand Lac (SHL2) in 2002

| Classe         | Petit Lac (GE3) | Grand Lac (SHL2) |
|----------------|-----------------|------------------|
| Diatomées      | 27.8            | 22.2             |
| Cyanobactéries | 23.3            | 20.3             |
| Chlorophycées  | 19.7            | 18.9             |
| Dinophycées    | 9.5             | 13.0             |
| Cryptophycées  | 9.3             | 8.2              |
| Chrysophycées  | 6.3             | 9.9              |
| Conjuguées     | 4.0             | 7.5              |

### 3.2.3 Succession des espèces et variations saisonnières

La comparaison des successions saisonnières entre les deux stations amène les commentaires suivants :

- en début d'année, disparition de *Tabellaria flocculosa* dans le Petit Lac et dans le Grand Lac,
- comme dans le Grand Lac, la **phase printanière** est marquée par une forte biomasse de *Rhodomonas minuta*,
- la **phase des eaux claires** est observée le 21 mai (15 mai à SHL2); le décalage est dû à la différence de dates de prélèvement,
- le début de la **phase estivale** s'observe nettement le 17 juin (12 juin à SHL2) avec une dominance de *Fragilaria crotonensis* et *Dinobryon sociale* dans les deux stations,
- sur l'ensemble de l'été, *Pseudosphaerocystis lundii* n'est pas observée à GE3; en revanche, *Micractinium pusillum* domine en juillet alors que cette espèce est peu représentée dans le Grand Lac. *Chlamydomonas* spp est bien présente de juillet à novembre,
- comme dans le Grand Lac, la **phase automnale** démarre avec *Planktothrix rubescens*, *Diatoma tenuis* et *Aphanothece clathrata*. Sans doute favorisée par des températures relativement élevées pour la saison, *Ceratium hirundinella* affiche des biomasses assez conséquentes jusqu'en novembre,
- enfin, la **phase hivernale** est dominée par *Stephanodiscus neoastraea*, *S. alpinus* et *Planktothrix rubescens* dans les deux stations.



## 5. CONCLUSIONS

Avec une biomasse annuelle record de 4'976 mg/m<sup>3</sup>, l'année 2001 avait marqué la vie planctonique du Léman. L'année 2002 a été plus normale, puisque cette même biomasse n'a été que de 2'747 mg/m<sup>3</sup>, valeur plus habituelle ces dernières années.

L'évolution de la biomasse phytoplanctonique en 2002 est caractérisée par trois pics en mars, juin et août. Le nanoplancton ne joue un rôle prépondérant que lors du pic printanier. Dès le mois d'avril, la biomasse totale est essentiellement constituée de microplancton.

La prolifération exceptionnelle de *Mougeotia gracillima* en automne 2001, qui avait occasionné des nuisances pour les pêcheurs professionnels ne s'est pas reproduite en 2002.

Le comportement de cette espèce, avec des années à fort développement (1977, 1996, 1998 et 2001) et d'autres plus discrètes, est assez représentatif de la grande variabilité interannuelle des biomasses du phytoplancton lémanique.

La richesse spécifique, qui baissait régulièrement depuis 1998, a fortement augmenté en 2002, passant de 91 taxons en 2001 à 119 taxons. Cette augmentation est en partie due à l'apparition de nouvelles espèces de cyanobactéries microplanctoniques.

Des espèces de grande taille ont la particularité d'utiliser de faibles intensités lumineuses. Elles peuvent donc se développer ou effectuer des migrations journalières plus en profondeur, où le phosphore est plus abondant qu'en surface.

Les résultats obtenus en 2002 confirment donc certaines hypothèses formulées par ANNEVILLE *et al.* (2001), notamment l'augmentation des espèces mixotrophes (Dinophycées) et l'absence de réponse de la phytocénose planctonique en raison du niveau trophique encore trop élevé. En revanche, la colonisation de couches plus profondes par les cyanobactéries ne peut être confirmée avec les méthodes de prélèvement actuelles et devrait faire l'objet d'une étude particulière.

Enfin, il apparaît que, bien que le Petit Lac et le Grand Lac présentent de grandes similitudes, leur fonctionnement diffère par l'évolution annuelle des biomasses.

## BIBLIOGRAPHIE

- ANNEVILLE, O., ANGELI, N., GINOT, V. et PELLETIER, J-P. (2001) : Ambiguïté sur l'état trophique du Léman : vers un indice fondé sur les associations d'espèces. In : Etat de santé des écosystèmes aquatiques. De nouveaux indicateurs biologiques. CEMAGREF (ed.), France, 153-175.
- ANNEVILLE, O., GINOT, V. et ANGELI, N. (2001) : Evolution de l'état de santé du Léman évalué par l'analyse des séries chronologiques du phytoplancton. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2000, 161-189.
- BALVAY, G. (2003) : Evolution du zooplancton du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2002, 85-96.
- DRUART, J.-C., REVACLIER, R., CAUZZI, N. et LAVIGNE, S. (2001) : Evolution du phytoplancton du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2000, 81-90.
- LAVIGNE, S. et DRUART, J.-C., (2002) : Evolution du phytoplancton du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2001, 71-84.
- LEBOULANGER, C. (2003) : Dynamique de la production phytoplanctonique et de la biomasse chlorophyllienne dans le Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2002, 59-67.
- UTERMÖHL, H. (1958) : Toward the improvement of the quantitative phytoplankton method. Mitteilungen-Internationale Vereinigung für Limnologie, 9 1-38 (In German).

Tableau 7 : Biomasse relative des espèces les plus abondantes (Léman SHL 2, 1997 à 2002)

Table 7 : Relative biomass of the most abundant species (lake Geneva SHL2, 1997 à 2002)

|                                                     | 1997    | 1998    | 1999    | 2000    | 2001    | 2002    |
|-----------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| <b>CYANOBACTÉRIES</b>                               |         |         |         |         |         |         |
| <i>Aphanizomenon flos-aquae</i>                     | 0.3     | 0.1     | 0.01    | 0.8     | * 3.6   | * 2.3   |
| <i>Microcystis delicatissima</i>                    |         |         |         |         |         | * 4.2   |
| <i>Planktothrix rubescens</i>                       | ** 6.6  | 0.5     | * 1.0   | 0.0     | * 1.7   | ** 10.9 |
| <i>Oscillatoria limnetica</i>                       | 0.2     | 0.1     | * 1.7   | 0.2     | 0.7     | * 1.6   |
| <i>Pseudanabaena galeata</i>                        |         |         | * 2.9   | 0.3     | 0.7     | 0.3     |
| <b>DINOPHYCÉES</b>                                  |         |         |         |         |         |         |
| <i>Gymnodinium helveticum</i>                       | * 1.0   | 0.3     | * 1.0   | 0.9     | 0.3     | 0.4     |
| <i>Peridinium willei</i>                            | * 2.2   | 0.6     | * 2.2   | 0.0     | 0.3     | 0.5     |
| <i>Ceratium hirundinella</i>                        | ** 10.1 | ** 19.5 | ** 16.2 | ** 6.9  | 5.7*    | ** 10.6 |
| <i>Woloszynskia pseudopalustre</i>                  |         |         |         |         |         | * 1.3   |
| <b>CRYPTOPHYCÉES</b>                                |         |         |         |         |         |         |
| <i>Cryptomonas</i> spp                              | 2.3*    | 3.0*    | 6.5**   | 2.1*    | 0.7     | * 1.9   |
| <i>Rhodomonas minuta</i>                            | 2.7*    | 1.9*    | 3.4*    | 4.4*    | 2.2*    | * 4.7   |
| <i>Rhodomonas minuta</i> var. <i>nannoplanctica</i> | 2.2*    | 1.1*    | 1.4*    | 1.1*    | 0.3     | * 1.6   |
| <b>CHRYSTOPHYCÉES</b>                               |         |         |         |         |         |         |
| <i>Dinobryon sociale</i>                            | * 5.4   | * 4.9   | * 1.2   | ** 45.5 | * 2.0   | ** 7.8  |
| <i>Dinobryon divergens</i>                          | 3.1     | * 3.1   | 0.7     | 0.9     | * 2.2   | 0.1     |
| <b>DIATOMÉES</b>                                    |         |         |         |         |         |         |
| <i>Stephanodiscus neoastraea</i>                    | 0.2     | 0.3     | * 1.7   | 0.3     | 0.3     | 0.3     |
| <i>Stephanodiscus alpinus</i>                       |         |         |         |         |         | * 1.9   |
| <i>Stephanodiscus minutulus</i>                     | * 1.7   | 0       | * 2.2   | * 1.5   | 0.0     | * 1.2   |
| <i>Diatoma tenuis</i>                               | ** 13.8 | ** 9.1  | ** 26.2 | * 1.5   | ** 25.1 | * 5.6   |
| <i>Fragilaria crotonensis</i>                       | * 1.2   | * 1.9   | ** 7.8  | ** 7.3  | 0.3     | ** 8.0  |
| <i>Fragilaria ulna</i>                              |         |         |         |         |         | * 2.2   |
| <i>Asterionella formosa</i>                         | * 3.2   | * 3.4   | * 1.8   | * 1.2   | 0.2     | 0.8     |
| <i>Synedra acus</i> var. <i>angustissima</i>        | 0.1     | 0.9     | * 1.1   | 0.3     | 0.2     | 0.1     |
| <i>Cyclotella radiosa</i>                           | 0.9     | * 1.2   | 0       | 0.0     | 0.1     | 0.1     |
| <i>Cyclotella cyclopuncta</i>                       | 0       | 0.4     | * 2.0   | 0.9     | 0.7     | * 1.5   |
| <i>Tabellaria flocculosa</i>                        | 0.5     | 0.6     | 0.5     | ** 15.3 | * 4.1   | 0.0     |
| <b>CHLOROPHYCÉES</b>                                |         |         |         |         |         |         |
| <i>Chlamydomonas</i> sp                             | 0.9     | * 1.7   | * 1.4   | 0.0     | 0.2     | * 1.7   |
| <i>Pseudosphaerocystis lundii</i>                   |         |         |         |         |         | ** 13.2 |
| <i>Ulothrix</i> spp                                 |         |         |         |         |         | * 1.8   |
| <b>XANTHOPHYCÉES</b>                                |         |         |         |         |         |         |
| <i>Tribonema ambiguum</i>                           | ** 25.1 | ** 6.9  | 0.1     | 0.0     | 0.0     |         |
| <i>Tribonema cf taetianema</i>                      |         |         |         | 0.0     | 0.9     |         |
| <b>CONJUGUÉES</b>                                   |         |         |         |         |         |         |
| <i>Mougeotia gracillima</i>                         | ** 10.3 | ** 24.4 | * 1.9   | 0.2     | ** 44.0 | * 5.9   |
| <i>Staurostrum cingulum</i>                         | 0.5     | * 5.1   | * 1.4   | * 1.0   | 0.2     | 0.7     |

\*\* : espèces très abondantes (plus de 6 % de la biomasse totale)

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

Photo 1 : *Achroonema articulatum*



Photo 2 : *Aphanocapsa holsatica*

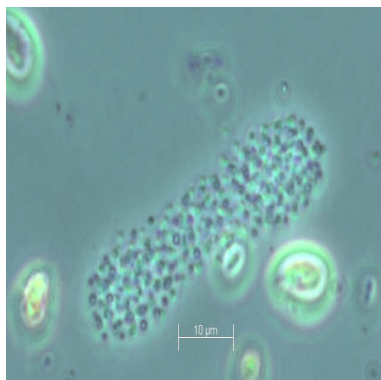


Photo 3 : *Microcystis delicatissima*

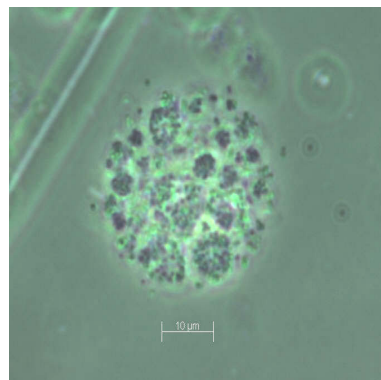


Photo 4 : *Oscillatoria geminata*

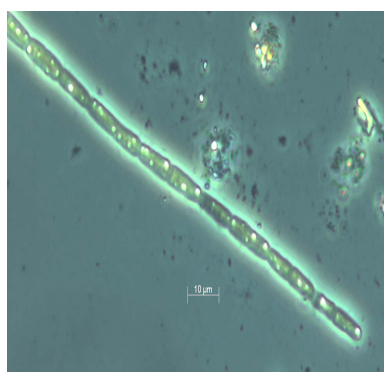


Photo 5 : *Woloszynskia pseudopalustre*

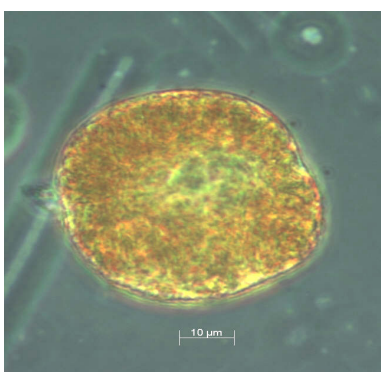


Photo 6 : *Chrysolykos angulatum*

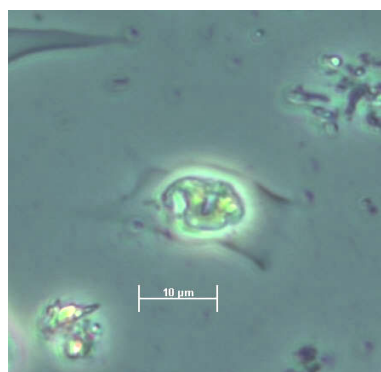


Photo 7 : *Dictiosphaerium cf subsolitarium*

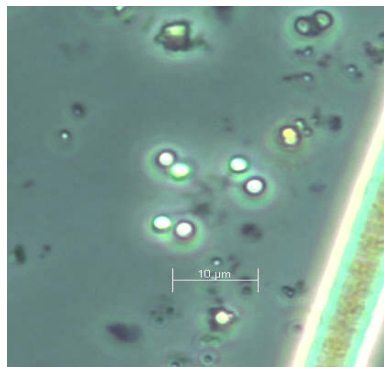


Photo 8 : *Monoraphidium convolutum*



Photo 9 : *Planktonema lauterbornii*



Photo 10 : *Trochiscia planctonica*

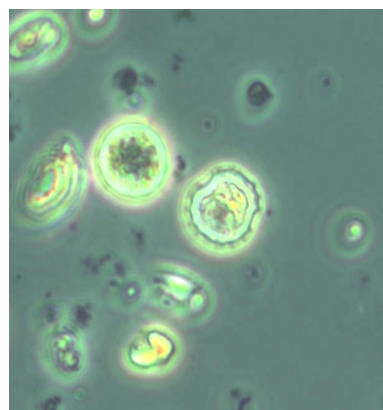
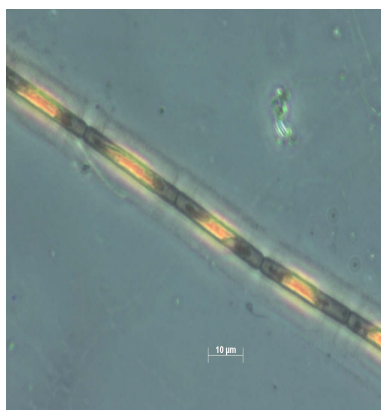


Photo 11 : *Ulothrix* sp1



Photo 12 : *Ulothrix* sp2





# ÉVOLUTION DU ZOOPLANKTON DU LÉMAN

## CHANGES IN THE ZOOPLANKTON OF LAKE GENEVA

Campagne 2002

PAR

**Gérard BALVAY**

avec la collaboration technique de **Leslie LAINE**

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

### RÉSUMÉ

*L'étude du zooplancton a pu être effectuée correctement en 2002, le phytoplancton en particulier avec ses espèces filamenteuses ayant bien moins perturbé les prélèvements qu'en 2001. Le biovolume sédimenté du zooplancton a diminué en 2002, de même que l'abondance des organismes pélagiques due à la moindre abondance des Cyclopoides et des Branchiopodes par rapport aux années précédentes. Il faut noter la chute drastique d'abondance de *Cyclops vicinus* et l'essor des Bosminidés après leur déclin observé en 2000, globalement plus nombreux que les Daphniidés durant le premier semestre. L'amélioration du fonctionnement du réseau trophique en 2002 est montrée par la simultanéité entre l'apparition de la phase des eaux claires, le développement printanier des branchiopodes herbivores et l'abondance réduite du nanophytoplancton.*

### ABSTRACT

*It was possible to carry out a proper investigation of the zooplankton in 2002, in particular, the phytoplankton with its filamentous species interfered much less with the sampling than in 2001. The settled zooplankton biovolume had fallen in 2002, as had the number of pelagic organisms, as a result of the lower abundance of Cyclopoida and Branchiopoda than in previous years. In particular, we noted a drastic fall in the numbers of *Cyclops vicinus* and a rise in Bosminides after the decline observed in 2000, they were now globally more numerous than daphnids during the first six months of the year. The improved performance of the trophic network compared to 2002 was revealed by the simultaneous appearance of the clear water phase, the spring development of herbivorous branchiopods and a reduction in the nanophytoplankton.*

## 1. INTRODUCTION

Le zooplancton est composé d'une multitude d'organismes, principalement des rotifères et des microcrustacés, auxquels il convient d'ajouter les bactéries (bactérioplancton), les protozoaires (protozooplancton) 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 2002 a bénéficié des mêmes procédures que les années précédentes. Rappelons que l'année 2001 n'avait pas pu être exploitée en raison de l'abondance du phytoplancton et surtout des algues filamenteuses ayant modifié les caractéristiques de filtration du filet à zooplancton, rendant la volumétrie du zooplancton sédimenté et les dénombrements très difficiles, voire impossibles, et surtout très peu fiables (BALVAY, 2002).

## 2. MÉTHODOLOGIE

Le zooplancton est recueilli avec deux filets jumelés à vide de maille de 0.064 mm (rotifères) ou de 0.200 mm (microcrustacés) 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. BIOVOLUME SÉDIMENTÉ

#### 3.1 Variations saisonnières

Le cycle d'abondance du biovolume sédimenté du zooplancton en 2002 montre toujours des variations saisonnières importantes, de 23 ml/m<sup>2</sup> (15 janvier) à 260 ml/m<sup>2</sup> (29 mai) (figure 1). Trois phases d'abondance se succèdent, constamment décroissantes : la période printanière avec un double pic d'abondance le 29 mai dû aux cladocères, la période estivale plafonnant le 19 août (cladocères et calanoïdes) et la période automnale peu marquée (calanoïdes le 28 octobre).

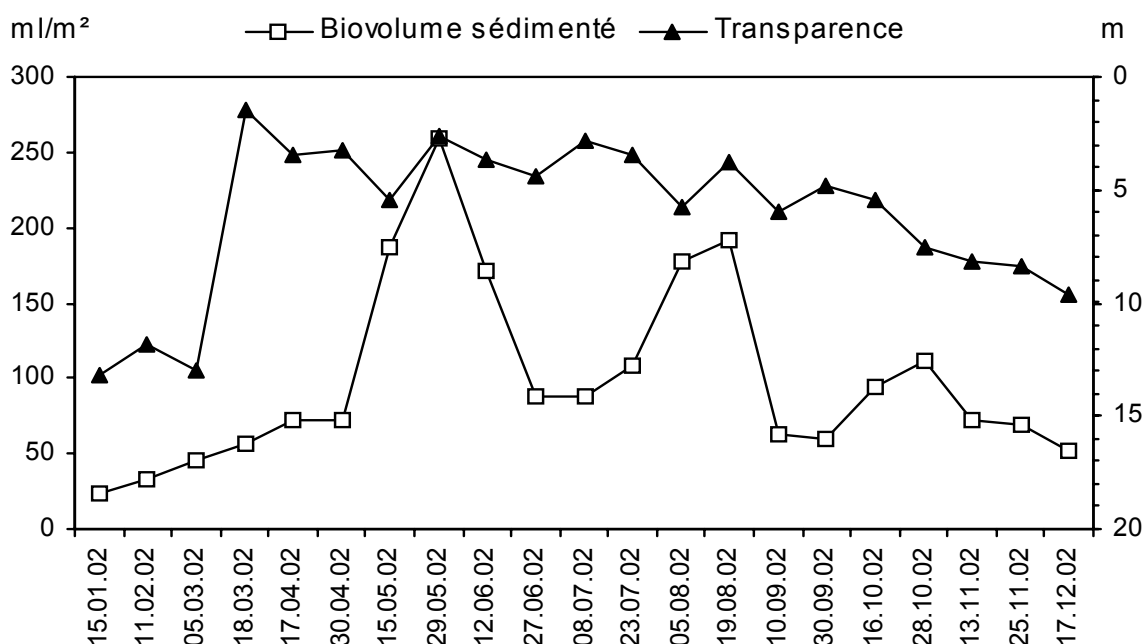


Figure 1 : Evolution du biovolume zooplanctonique sédimenté et de la transparence des eaux en 2002 (Léman, SHL2)

Figure 1 : Settled zooplankton and Secchi disk values during 2002 (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 (phase des eaux claires). Avec le développement printanier des daphnies qui a entraîné une importante limitation de la biomasse phytoplanctonique au printemps (DRUART *et al.*, 2003), ce phénomène des eaux claires a été marqué par la transparence en 2002, qui passe de 1.5 m (18 mars) à 5.4 m (15 mai) (figure 1). Il faut noter que la transparence était anormalement faible à la fin de l'hiver (1.5 m le 18 mars) en raison d'un développement précoce du phytoplancton (DRUART *et al.*, 2003). En 2001, la transparence avait augmenté de façon identique, passant de 4.5 m (9/05/01) à 8 m (11/06/01).

La courbe des variations saisonnières de la transparence en 2002 tend cependant à se rapprocher d'une courbe en " cloche ", forme fréquente au début du 20ème siècle lorsque le Léman était oligotrophe (BALVAY *et al.*, 1990). Serait-ce un indice du retour progressif du Léman à son état antérieur ? Il est bien trop tôt pour le dire en ce qui concerne ce paramètre, d'autant plus qu'au temps de FOREL (1895), le minimum de transparence apparaissait souvent en juillet alors qu'il est plus précoce actuellement (mars 2002).

### 3.2 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'état trophique maximum (figure 2). 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/m<sup>2</sup>, en diminution par rapport à celui de 1996 (137 ml/m<sup>2</sup>) ; il passe à 132 ml/m<sup>2</sup> en 1998 et revient à 118 ml/m<sup>2</sup> en 1999. En 2000, le biovolume approché (calculé en l'absence des valeurs de novembre et décembre) est proche de 139 ml/m<sup>2</sup>, surestimé en l'absence des faibles valeurs de fin de l'année. En 2002, le biovolume sédimenté est en nette diminution : 91,6 ml/m<sup>2</sup>.

### 3.3 Relation phosphore total - zooplancton

Il a été possible de poursuivre cette année la relation entre l'abondance du biovolume sédimenté du zooplancton et les variations de la teneur moyenne annuelle des eaux en phosphore total (mg P/m<sup>3</sup>) (figure 2). Rappelons que les variations simultanées de ces deux paramètres ont montré un parallélisme important jusqu'en 1999 ( $r = 0,76$  ;  $N = 39$ ) (BALVAY, 2000). La tendance à l'accroissement 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 a retrouvé en 2002 la tendance générale observée jusqu'en 1995 avec des variations parallèles des teneurs en phosphore et du zooplancton sédimenté.

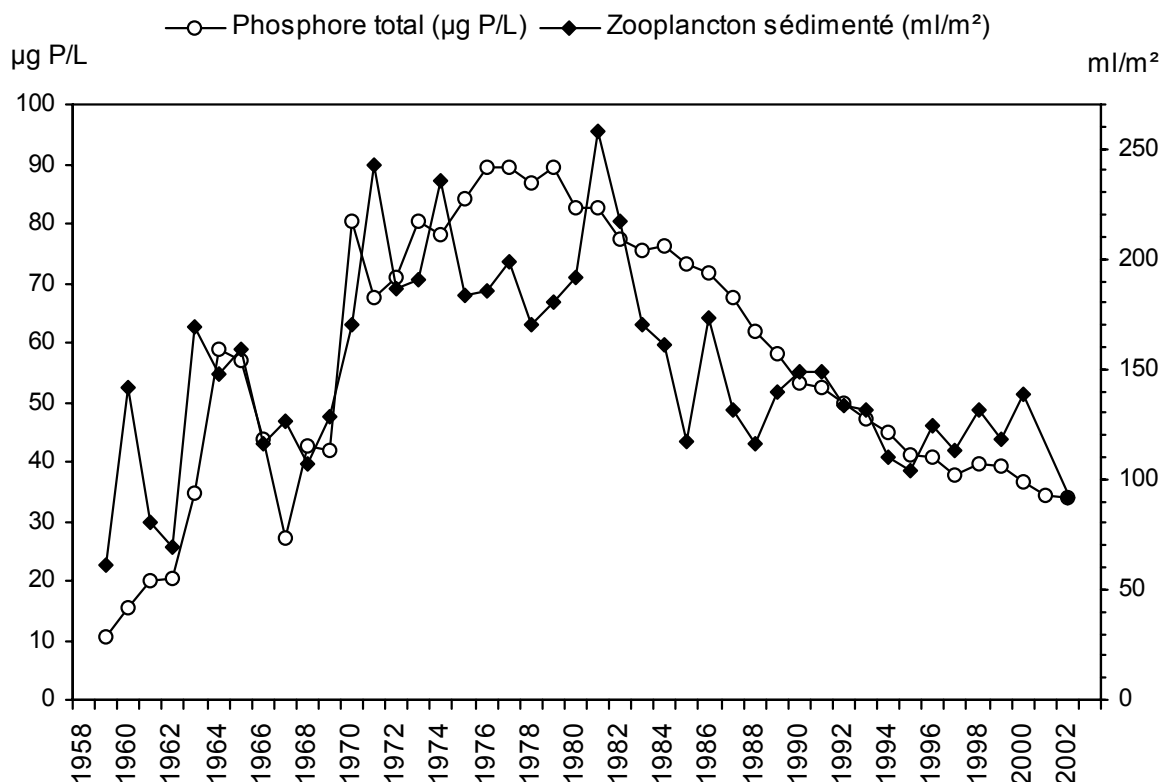


Figure 2 : Evolution des biovolumes sédimentés des moyennes annuelles en P total et de l'abondance du zooplancton sédimenté (Léman, SHL2)

Figure 2 : Annual means of total P and settled zooplankton volume (lake Geneva, SHL2)

## 4. COMPOSITION DE LA BIOCÉNOSE ROTATORIENNE

La liste des organismes rencontrés dans le domaine pélagique est présentée dans l'annexe 1.

### 4.1 Microcrustacés

Le zooplancton pélagique ne représente qu'une fraction de la biodiversité 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).

Alors que le biovolume sédimenté présente 3 phases de moins en moins marquées au cours de l'année, l'abondance des organismes zooplanctoniques montre un peuplement accru au printemps et un second développement de moindre importance en fin d'été et en automne (figure 3).

Tableau 1: Evolution de l'abondance des groupes de microcrustacés (ind/m<sup>2</sup>) (Léman, SHL2)

Table 1: Long-term changes in the abundance of some microcrustacean groups (ind/m<sup>2</sup>) (lake Geneva, SHL2)

| Moyenne annuelle                | 1996                | 1997                 | 1998                | 1999                 | * 2000               | ** 2001 | 2002               |
|---------------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------|--------------------|
| Total Microcrustacés            | 441'800             | 390'100              | 410'000             | 414'300              | * 609'500            |         | 374'800            |
| Branchiopodes                   | 103'500             | 79'800               | 84'300              | 149'000              | 67'700               |         | 81'300             |
| Cyclopoïdes                     | 141'600             | 164'800              | 132'200             | 116'800              | 199'300              |         | 81'200             |
| Calanoïdes                      | 196'800             | 145'500              | 193'500             | 148'500              | 342'500              |         | 212'200            |
| <b>Abondance max.</b><br>(date) |                     |                      |                     |                      |                      |         |                    |
| Total Microcrustacés            | 2'328'200<br>(3/06) | 2'554'900<br>(21/05) | 1'024'100<br>(6/05) | 1'083'400<br>(10/05) | 1'813'100<br>(23/05) |         | 957'000<br>(15/05) |
| Branchiopodes                   | 1'549'800<br>(3/06) | 799'000<br>(21/05)   | 509'700<br>(6/05)   | 657'100<br>(10/05)   | 314'000<br>(23/05)   |         | 437'200<br>(29/05) |
| Cyclopoïdes                     | 783'200<br>(6/05)   | 1'002'200<br>(21/05) | 348'300<br>(20/04)  | 391'800<br>(26/04)   | 1'270'100<br>(9/05)  |         | 183'600<br>(17/04) |
| Calanoïdes                      | 661'100<br>(4/11)   | 753'800<br>(21/05)   | 413'600<br>(2/11)   | 600'100<br>(13/12)   | 680'600<br>(23/05)   |         | 456'400<br>(12/06) |

\* année incomplète

\*\* année non représentative

L'abondance moyenne annuelle des microcrustacés, en légère augmentation en 2000, diminue en 2002 en relation avec une diminution générale des Calanoïdes et des Cyclopoïdes, les Branchiopodes progressant un peu, et une réduction marquée du pic de printemps sauf chez les Branchiopodes (tableau 1). Les Calanoïdes constituent durant la majeure partie de l'année la principale composante du zooplancton crustacéen, numériquement dominants devant les cyclopoïdes et les cladocères sauf en 1997. En 2002, les Calanoïdes restent toujours dominants, représentant plus de 50% des crustacés en moyenne annuelle (tableau 1).

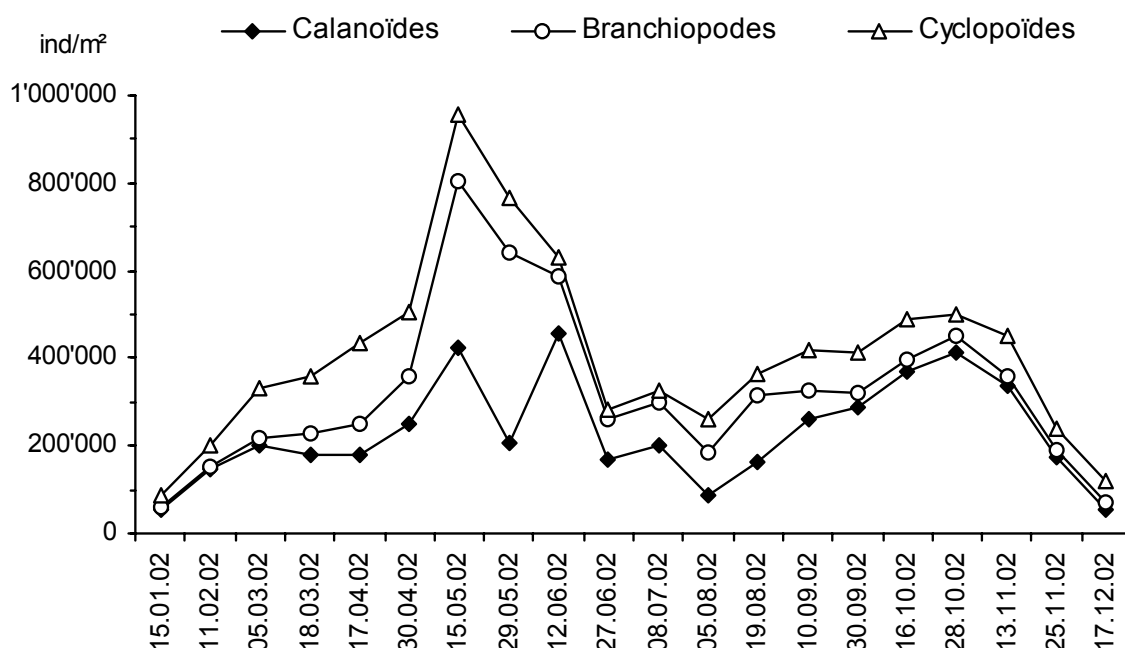


Figure 3 : Evolution du peuplement crustacéen (courbes cumulées) (Léman, SHL2)

Figure 3 : Changes in the abundance of Crustacea (cumulative curves) (lake Geneva, SHL2)

La population réduite de microcrustacés au printemps va de pair avec la diminution des teneurs en NH<sub>4</sub> dans les strates superficielles observée par LAZZAROTTO *et al.* (2003).



#### 4.1.1 Branchiopodes (Cladocères)

Ce groupe renferme des organismes herbivores, Daphniidés (*Daphnia hyalina*, *D. longispina* et *D. galeata*) et Bosminidés (*Bosmina longirostris*, *Eubosmina longispina* et *E. mixta*), ainsi que des prédateurs de grande taille (*Leptodora kindtii* et *Bythotrephes longimanus*).

Les cladocères herbivores (*Daphnia*, *Bosmina* et *Eubosmina*) constituent toujours la composante principale des Branchiopodes (76'500 ind/m<sup>2</sup>), les Bosminidés montrant une importante progression par rapport aux années antérieures (tableau 2).

Le broutage exercé par les Branchiopodes herbivores a nettement limité l'abondance printanière du phytoplancton mais s'est avéré inefficace en août lorsque les daphnies n'ont pu contrôler l'abondance du microphytoplancton et surtout de *Planktothrix rubescens* (DRUART et LAVIGNE, 2003).

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

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

| Herbivores [ind/m <sup>2</sup> ]    | 1996                 | 1997               | 1998              | 1999               | * 2000             | ** 2001 | 2002               |
|-------------------------------------|----------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------|--------------------|
| Moyenne annuelle                    | 99'800               | 77'000             | 80'800            | 142'900            | * 62'000           |         | 76'500             |
| Abondance max.<br>(date)            | 1'541'500<br>(03/06) | 797'900<br>(21/05) | 507'300<br>(6/05) | 656'400<br>(10/05) | 307'600<br>(23/05) |         | 426'000<br>(29/05) |
| <b>Daphnies [ind/m<sup>2</sup>]</b> |                      |                    |                   |                    |                    |         |                    |
| Moyenne annuelle                    | 95'100               | 50'700             | 75'200            | 81'000             | 61'800             |         | 34'600             |
| Abondance max.<br>(date)            | 1'475'900<br>(03/06) | 474'600<br>(21/05) | 483'500<br>(6/05) | 304'400<br>(18/10) | 307'100<br>(23/05) |         | 142'400<br>(19/08) |
| <b>Bosmines [ind/m<sup>2</sup>]</b> |                      |                    |                   |                    |                    |         |                    |
| Moyenne annuelle                    | 4'700                | 26'300             | 5'600             | 64'600             | 235                |         | 41'900             |
| Abondance max.<br>(date)            | 65'600<br>(03/06)    | 323'300<br>(21/05) | 23'800<br>(6/05)  | 538'000<br>(10/05) | 1'900<br>(12/10)   |         | 330'500<br>(29/05) |

\* année incomplète

\*\* année non représentative

La réduction progressive d'abondance des daphnies entre 1996 et 2002 conforte les observations de GERDEAUX (2003) sur la diminution de la participation de ces branchiopodes dans le régime alimentaire du corégone du Léman.

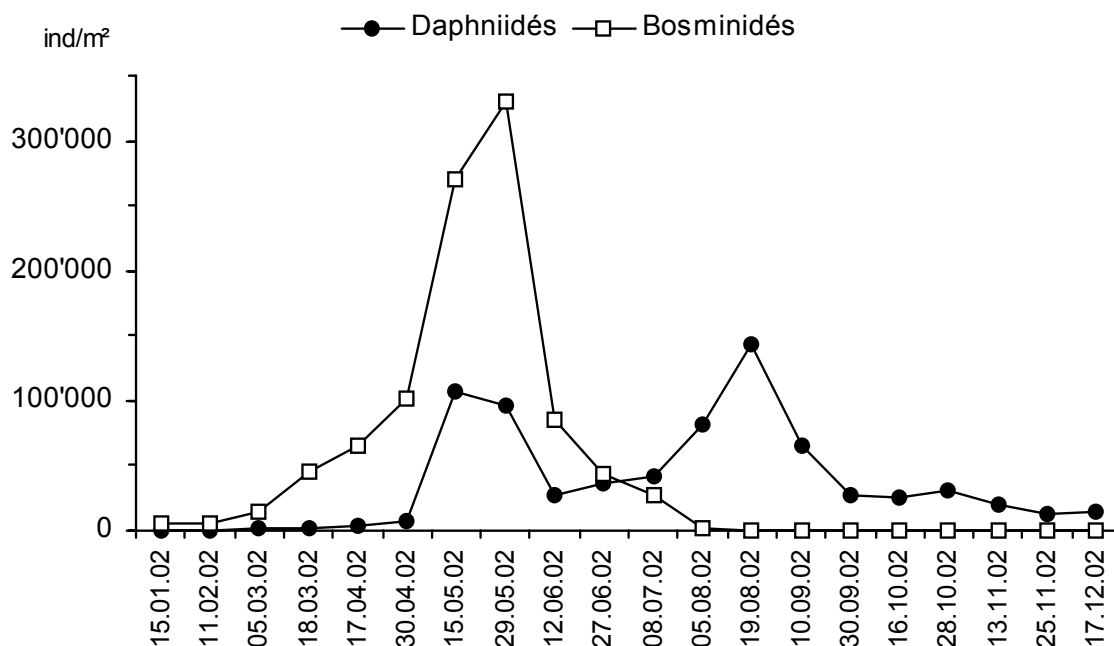


Figure 4 : Evolution des Branchiopodes herbivores (Léman, SHL2)

Figure 4 : Changes in the abundance of herbivorous Branchiopoda (lake Geneva, SHL2)

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).

Tableau 3 : Evolution de l'abondance des Branchiopodes carnivores (ind/m<sup>2</sup>) (Léman, SHL2)

Table 3 : Seasonal changes in carnivorous Branchiopoda (ind/m<sup>2</sup>) (lake Geneva, SHL2)

| <b><i>Bythotrephes</i></b> | 1996             | 1997              | 1998              | 1999              | * 2000           | ** 2001 | 2002             |
|----------------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|---------|------------------|
| Moyenne annuelle           | 1'100            | 1'000             | 1'100             | 800               | * 900            |         | 970              |
| Abondance max.<br>(date)   | 6'200<br>(17/06) | 5'100<br>(25/06)  | 5'600<br>(2/06)   | 6'100<br>(16/06)  | 4'100<br>(13/06) |         | 7'000<br>(29/05) |
| <b><i>Leptodora</i></b>    |                  |                   |                   |                   |                  |         |                  |
| Moyenne annuelle           | 2'600            | 1'800             | 2'400             | 2'600             | * 4'800          |         | 3'900            |
| Abondance max.<br>(date)   | 32'000<br>(5/08) | 12'200<br>(19/08) | 26'900<br>(20/07) | 17'300<br>(23/08) | 31'900<br>(8/08) |         | 24'100<br>(8/07) |

\* année incomplète

\*\* année non représentative

*L. kindtii* est une espèce saisonnière à preferendum estival, qui apparaît dès la mi-mars en 2002 ; elle développe une très importante population de juin à août (maximum : 24'100 ind/m<sup>2</sup> le 8 juillet) puis régresse progressivement jusqu'à disparaître à l'approche de l'hiver (figure 6).

La présence de *B. longimanus* est permanente tout au long de l'année. Son abondance maximale atteint 7'000 ind/m<sup>2</sup> le 29 mai. Cette espèce est moins abondante et présente des fluctuations saisonnières moins importantes que *L. kindtii* (figure 5). Le développement saisonnier important de ces deux prédateurs limite l'abondance des Branchiopodes durant la saison estivale.

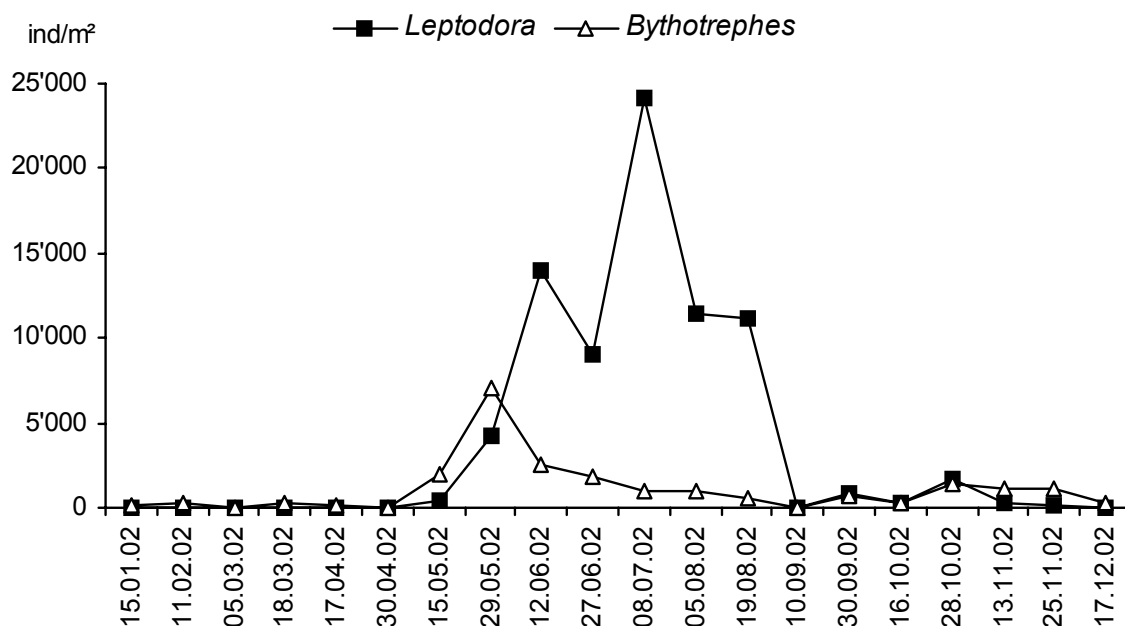


Figure 5 : Evolution saisonnière des branchiopodes prédateurs (Léman, SHL2)

Figure 5 : Seasonal changes in predatory Branchiopoda (lake Geneva, SHL2)

Ces crustacés prédateurs de grande taille 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 : localisation de *Bythotrephes* au delà de 50 m de profondeur, zone non explorée par le filet, et évitement du filet par cet organisme excellent nageur. *Bythotrephes* constitue la fraction très nettement dominante du régime alimentaire des corégones d'août à octobre à une période où ce crustacé est peu fréquent dans les échantillons de zooplancton. La capture préférentielle de ces grands branchiopodes prédateurs par les poissons résulte d'un choix actif à certaines périodes comme on peut le voir par exemple en janvier et février 2002, ces individus étant relativement rares dans le zooplancton examiné à cette époque (GERDEAUX, 2003).

#### 4.1.2 Calanoïdes

*Eudiaptomus gracilis* est une composante dominante et permanente du zooplancton crustacéen à longueur d'année, avec deux périodes d'abondance accrue au printemps et en automne (figure 6). Cette population qui avait fortement progressé en 2000, décline en 2002 tout en retrouvant une abondance comparable à celles observées avant 2000 (tableau 4).

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

Table 4 : Seasonal changes in the abundance in *Eudiaptomus gracilis* (lake Geneva, SHL2)

| Calanoïdes [ind/m <sup>2</sup> ] | 1996               | 1997               | 1998              | 1999               | * 2000             | ** 2001 | 2002               |
|----------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------|--------------------|
| Moyenne annuelle                 | 196'700            | 145'500            | 193'500           | 148'500            | * 342'500          |         | 212'200            |
| Abondance max.<br>(date)         | 661'100<br>(04/11) | 753'800<br>(21/05/ | 413'600<br>(2/11) | 600'100<br>(13/12) | 680'600<br>(23/05) |         | 456'400<br>(12/06) |

\* année incomplète

\*\* année non représentative

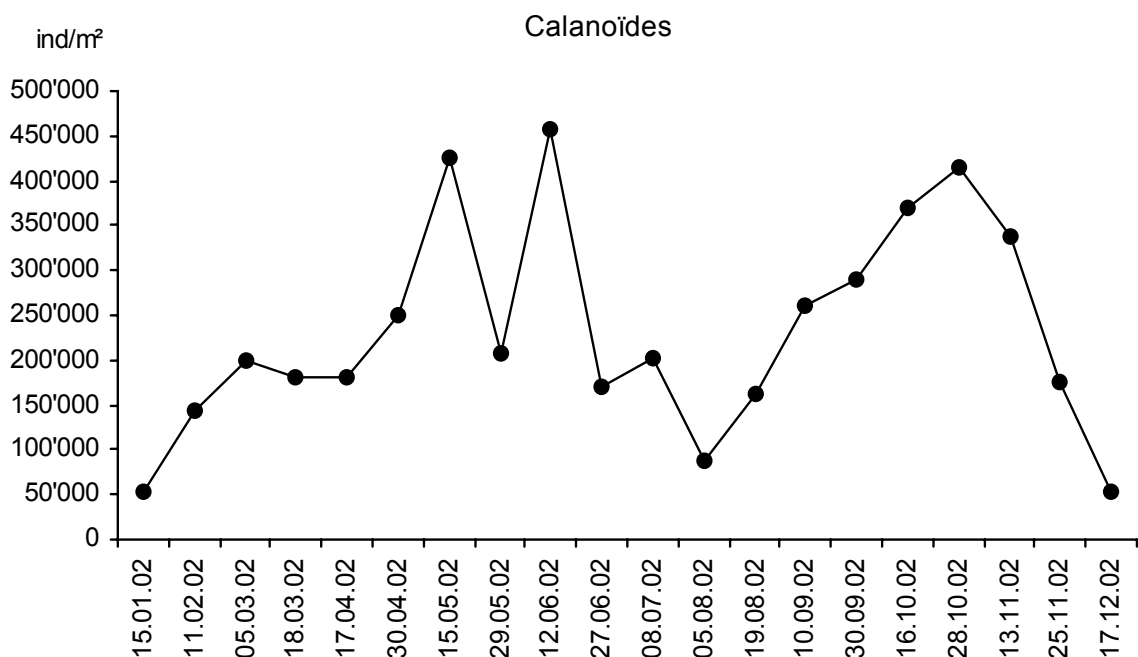


Figure 6 : Evolution saisonnière d'*Eudiaptomus gracilis* en 2002 (Léman, SHL2)

Figure 6 : Seasonal changes in the abundance of *Eudiaptomus gracilis* in 2002 (lake Geneva, SHL2)

#### 4.1.3 Cyclopoïdes

Les cyclopoïdes sont essentiellement représentés par le genre *Cyclops* (avec *C. abyssorum prealpinus* + *Cyclops* spp), genre dominant et essentiellement printanier (figure 7). *Acanthocyclops (Megacyclops) viridis* n'est apparu que de façon erratique et avec un nombre très limité d'individus dans les prélèvements.

En 2002, la population de nauplius représente 16'700 ind/m<sup>2</sup>. 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 très nette diminution par rapport aux années précédentes, tant en moyenne annuelle qu'en abondance maximale, en relation avec la très importante raréfaction de *C. vicinus* (tableau 5).

*C. vicinus* est très souvent considéré comme une espèce de milieu eutrophe (GEORGE, 1976 ; MAIER, 1989 ; KOBARI et BAN, 1998) et ses faibles effectifs observés en 2002 pourraient être mis en relation avec l'amélioration de la qualité des eaux.

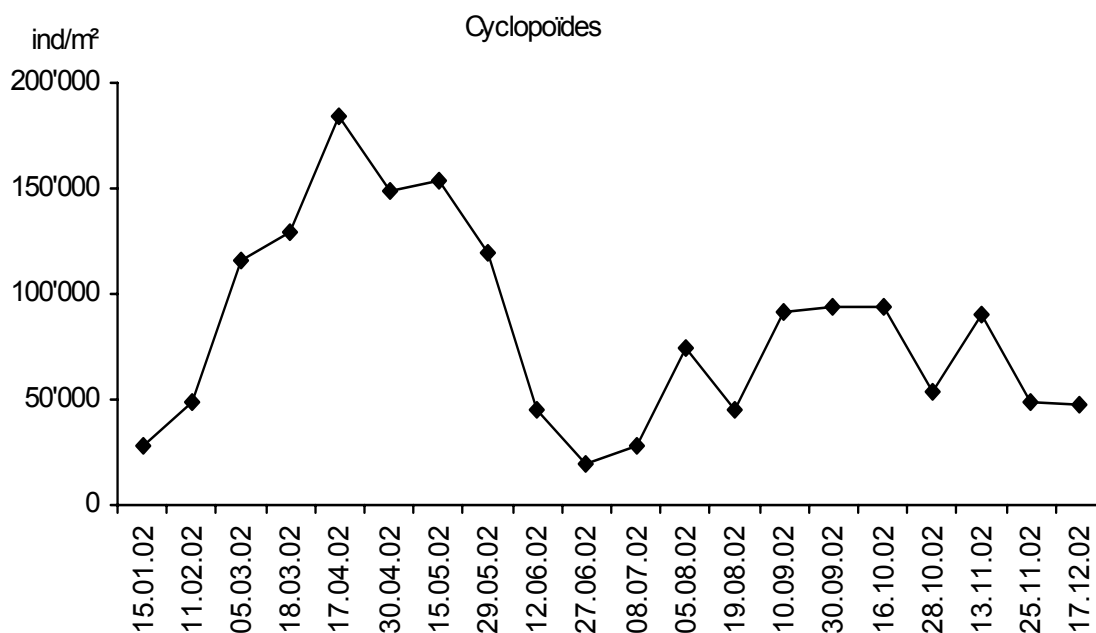


Figure 7: Evolution saisonnière de *Cyclops* spp. en 2002 (Léman, SHL2)

Figure 7: Seasonal changes in the abundance of *Cyclops* spp. in 2002 (lake Geneva, SHL2)

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

Table 5 : Seasonal changes in the abundance of Cyclopoida (lake Geneva, SHL2)

| [ind/m²]                          | 1996               | 1997                 | 1998               | 1999               | * 2000              | ** 2001 | 2002               |
|-----------------------------------|--------------------|----------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------|--------------------|
| <b>Cyclopoïdes</b>                |                    |                      |                    |                    |                     |         |                    |
| Moyenne annuelle                  | 141'600            | 164'800              | 132'200            | 116'800            | * 199'300           |         | 81'200             |
| Abondance max.<br>(date)          | 783'200<br>(6/05)  | 1'002'200<br>(21/05) | 348'300<br>(20/04) | 391'800<br>(26/04) | 1'270'100<br>(9/05) |         | 183'600<br>(17/04) |
| <b><i>Cyclops vicinus</i></b>     |                    |                      |                    |                    |                     |         |                    |
| Moyenne annuelle                  | 65'000             | 96'400               | 14'600             | 10'500             | 120'600             |         | 8'800              |
| Abondance max.<br>(date)          | 554'200<br>(6/05)  | 952'500<br>(21/05)   | 103'000<br>(6/05)  | 102'900<br>(26/04) | 1'088'000<br>(9/05) |         | 71'500<br>(17/04)  |
| <b><i>C. prealpinus</i> + ssp</b> |                    |                      |                    |                    |                     |         |                    |
| Moyenne annuelle                  | 47'200             | 19'300               | 79'300             | 72'900             | 36'500              |         | 55'700             |
| Abondance max.<br>(date)          | 152'100<br>(14/10) | 76'700<br>(23/04)    | 290'700<br>(2/11)  | 219'400<br>(26/04) | 64'400<br>(9/05)    |         | 117'400<br>(29/05) |
| <b>Autres Cyclopoïdes</b>         |                    |                      |                    |                    |                     |         |                    |
| Moyenne annuelle                  | 2'300              | 9'800                | 300                | 80                 | 600                 |         | 40                 |
| Abondance max.<br>(date)          | 14'800<br>(4/11)   | 171'400<br>(28/10)   | 1'600<br>(29/09)   | 430<br>(25/05)     | 7'400<br>(23/08)    |         | 500<br>(5/03)      |
| <b>Nauplii Cyclopoïdes</b>        |                    |                      |                    |                    |                     |         |                    |
| Moyenne annuelle                  | 27'100             | 39'200               | 38'000             | 33'300             | 41'700              |         | 16'700             |
| Abondance max.<br>(date)          | 145'700<br>(6/05)  | 294'700<br>(9/04)    | 154'000<br>(20/04) | 132'300<br>(24/03) | 178'200<br>(10/04)  |         | 74'800<br>(5/03)   |

\* année incomplète

\*\* année non représentative

## 4.2 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 essentiellement des espèces, coloniales (*Conochilus unicornis*) ou de grande taille, permanentes (*Asplanchna priodonta*, *Kellicottia longispina*) ou hivernales (*Notholca caudata*).

L'abondance moyenne annuelle varie selon les espèces (*C. unicornis* = 89'900 ind/m<sup>2</sup>, *K. longispina* = 35'200 ind/m<sup>2</sup>, *A. priodonta* = 15'700 ind/m<sup>2</sup>, *N. caudata* = 4'500 ind/m<sup>2</sup>), avec une succession des pics saisonniers de *N. caudata* (50'000 ind/m<sup>2</sup> le 18 mars), *A. priodonta* (82'500 ind/m<sup>2</sup> le 30 avril), *K. longispina* (322'500 ind/m<sup>2</sup> le 12 juin) et *C. unicornis* (1'041'600 ind/m<sup>2</sup> le 10 septembre) (figure 8).

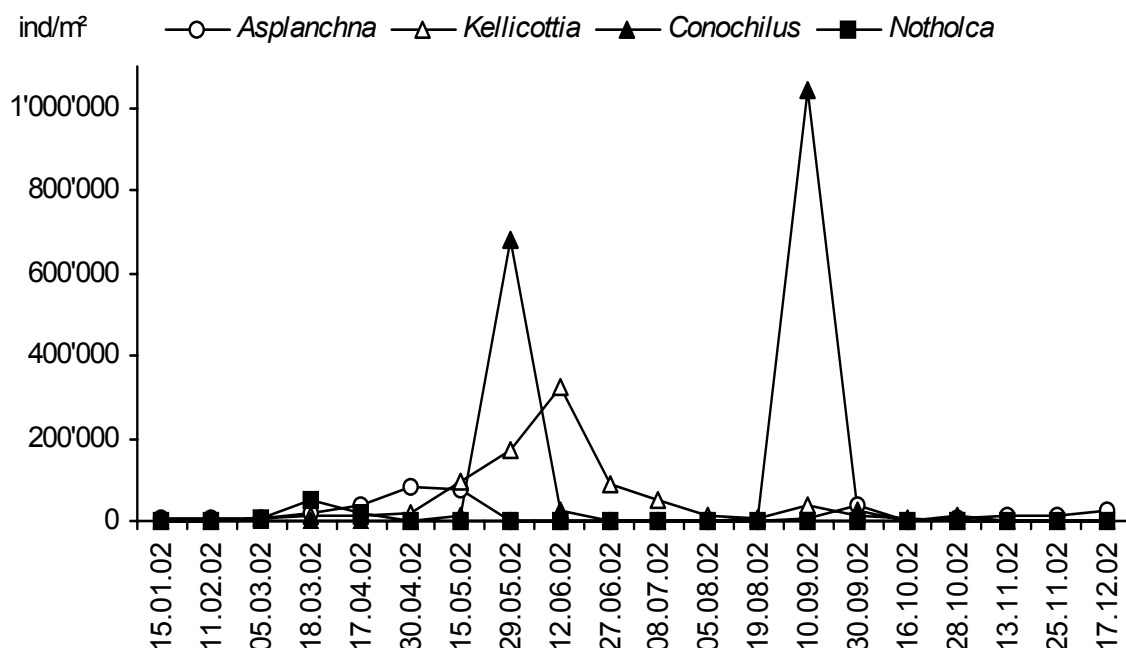


Figure 8 : Evolution saisonnière de quelques rotifères (Léman, SHL2)

Figure 8 : Seasonal changes in some Rotifera (lake Geneva, SHL2)

## 4.3 Autres groupes planctoniques

### 4.3.1 Mollusques : *Dreissena polymorpha*

Les larves véligères de la moule zébrée d'eau douce 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 6) ; la colonisation estivale du domaine pélagique par cette espèce a été observée en août-septembre 2002 (figure 9).

Tableau 6 : Evolution de l'abondance des larves planctoniques de *Dreissena polymorpha* (Léman, SHL2)

Table 6 : Seasonal changes in the abundance of the planktonic larvae of the zebra mussel *Dreissena polymorpha* (lake Geneva, SHL2)

| [ind/m <sup>2</sup> ]    | 1996              | 1997             | 1998             | 1999             | * 2000             | ** 2001 | 2002              |
|--------------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------|---------|-------------------|
| Moyenne annuelle         | 1'600             | 3'900            | 2'900            | 1'600            | 19'200             |         | 2'600             |
| Abondance max.<br>(date) | 24'100<br>(19/08) | 59'700<br>(4/08) | 22'400<br>(4/08) | 22'000<br>(2/08) | 225'100<br>(17/07) |         | 19'700<br>(19/08) |

\* année incomplète

\*\* année non représentative

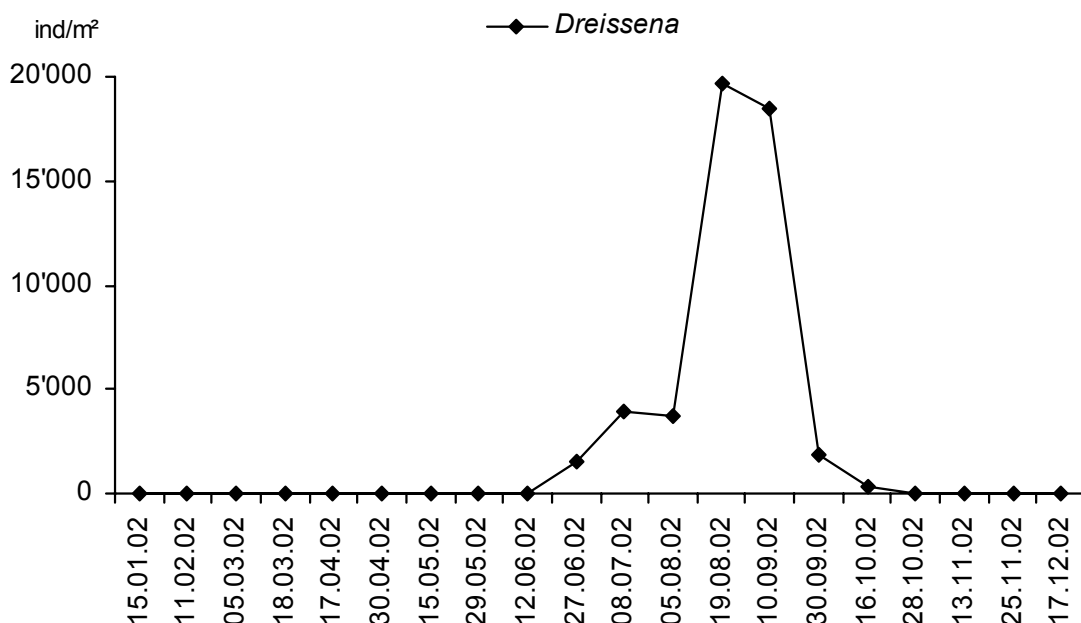


Figure 9 : Evolution saisonnière de *Dreissena polymorpha* en 2002 (Léman, SHL2)

Figure 9 : Seasonal changes in the abundance of the zebra mussel in 2002 (lake Geneva, SHL2)

#### 4.3.2 Protozoaires

Les valeurs indiquées pour la quantification des Epistylidés, Vorticellidés et Tintinnidés ne sont que des ordres de grandeur en raison du vide de maille du filet à zooplancton (0,2 mm) qui laisse échapper une grande partie de ces organismes. Mais les fluctuations observées reflètent vraisemblablement les variations réelles d'abondance de ces protozoaires (tableau 7).

Ces protozoaires sont très abondants lors des importantes poussées de phytoplancton et sont le plus souvent fixés sur les chaînes de diatomées ou dans des amas de matière organique détritique (protozoaires épiphytiques : Vorticellidés), ou sur les carapaces des microcrustacés, en particulier chez les Calanoides (protozoaires épizoïques : Epistylidés). Les Epistylidés sont très nombreux en mai, en relation avec le développement saisonnier des Calanoides sur la carapace desquels ils se fixent (figure 10).

Ces protozoaires utilisent les bactéries et la matière organique détritique issue de la décomposition des organismes. Ils jouent un double rôle dans le fonctionnement du réseau trophique, en tant que prédateurs des bactéries, consommateurs de la matière organique détritique et comme ressource nutritive complémentaire pour le zooplancton dit " herbivore ".

Tableau 7 : Evolution de l'abondance de certains protozoaires (Léman, SHL2)

Table 7 : Seasonal changes in the abundance of some Protozoans (lake Geneva, SHL2)

| [ind/m²]                            |         | * 1996   | * 1997   | 1998      | 1999    | * 2000    | ** 2001 | 2002      |
|-------------------------------------|---------|----------|----------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|
| Epistylidés                         | Moyenne |          | * 3'800  | 22'400    | 19'000  | *85'300   |         | 402'100   |
|                                     | Maximum |          | * 66'500 | 195'700   | 101'600 | 745'700   |         | 2'345'200 |
|                                     | (date)  |          | (25/06)  | (2/11)    | (19/07) | (28/06)   |         | (29/05)   |
| Vorticellidés                       | Moyenne | 25'500   | * 800    | 151'000   | 24'600  | *253'900  |         | 110'200   |
|                                     | Maximum | 316'600  | * 14'500 | 1'420'100 | 184'100 | 1'925'800 |         | 532'600   |
|                                     | (date)  | (22/04)  | (3/03)   | (20/04)   | (26/04) | (25/04)   |         | (8/07)    |
| Tintinnidés<br>( <i>Codonella</i> ) | Moyenne | * 5'400  | * 40     | 6'700     | 700     | * 1'600   |         | 350       |
|                                     | Maximum | * 60'100 | * 500    | 93'500    | 13' 000 | 11'500    |         | 1'700     |
|                                     | (date)  | (18/03)  | (28/10)  | (20/04)   | (19/07) | (10/04)   |         | (17/04)   |

\* année incomplète

\*\* année non représentative

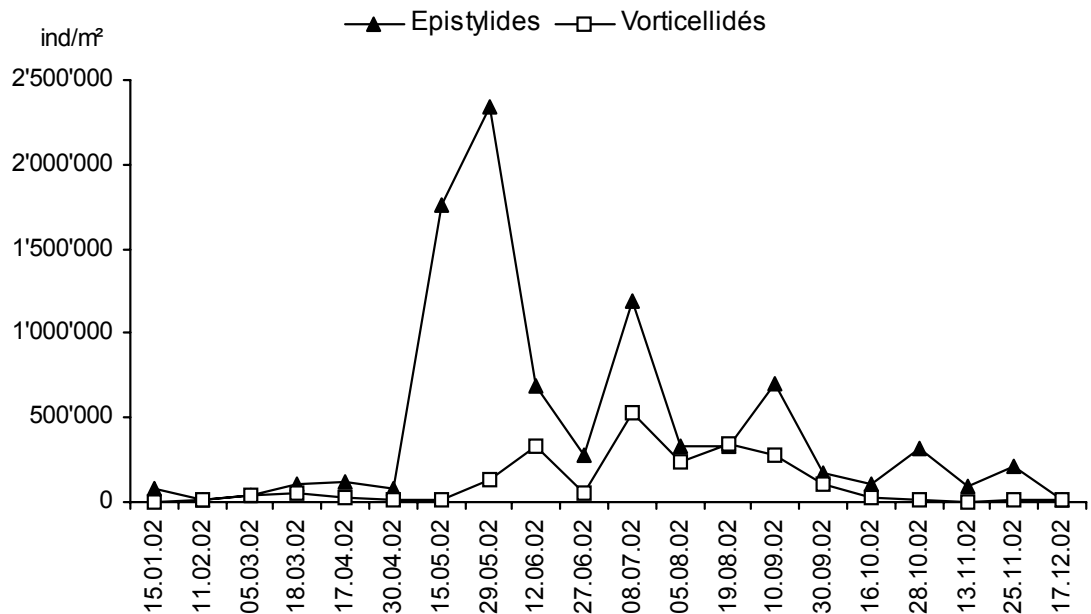


Figure 10 : Evolution de l'abondance de quelques protozoaires en 2002 (Léman, SHL2)

Figure 10 : Seasonal changes in the abundance of some protozoans in 2002 (lake Geneva, SHL2)

## 5. CONCLUSIONS

Le fonctionnement du réseau trophique durant ces dernières années a été souvent perturbé par les importants développements d'algues filamenteuses et de diatomées coloniales, difficilement ingérables par le zooplancton herbivore.

Les observations effectuées en 2002 mettent en évidence :

- la diminution du zooplancton sédimenté,
- l'abondance réduite des Cyclopoïdes et des Branchiopodes par rapport aux années précédentes,
- la chute drastique d'abondance de *Cyclops vicinus*,
- l'essor des Bosminidés après leur déclin observé en 2000, globalement plus nombreux que les Daphniidés durant le premier semestre,
- la dominance des Calanoïdes dont les effectifs, en diminution toutefois par rapport à 2000, retrouvent des abondances comparables à celles d'avant l'année 2000.

On observe, cette année encore, une excellente simultanéité entre :

- l'apparition de la phase des eaux claires, le développement printanier des branchiopodes herbivores et l'abondance réduite du nanophytoplancton,
- la population réduite des Branchiopodes au printemps excrète moins d'azote ammoniacal, d'où la moindre concentration en  $\text{NH}_4$  observée par LAZZAROTTO *et al.* (2003) dans les strates superficielles à cette période.

## 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., GAWLER, M. et PELLETIER, J.P. (1990) : Lake trophic status and the development of the Clear Water Phase in Lake Geneva. In : M.M. Tilzer & C. Serruya (Eds), Large Lakes : Ecological Structure and Function. Brock/Springer Series in Contemporary Bioscience, Univ. Wisconsin, 580-591.
- 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., LAVIGNE, S. et PERFETTA, J. (2003) : Evolution du phytoplancton du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2002, 69-83.
- FOREL, F.-A. (1895) : Le Léman. Monographie limnologique. F. Rouge (éd.) Lausanne. Réédition Slatkine, Genève. Tome 2, 651 p.
- GEORGE, D.G. (1976) : Life cycle and production of *Cyclops vicinus* in a shallow eutrophic reservoir. *Oikos*, 27, 101-110.
- GERDEAUX, D. (2003) : Régime alimentaire des corégones du Léman en milieu pélagique. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2002, 99-105.
- KOBARI, T. et BAN, S. (1998) : Life cycles of two limnetic cyclopoid copepods, *Cyclops vicinus* and *Thermocyclops crassus*, in two different habitats. *J. Plankton Res.*, 20 (6), 1073-1086.
- 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.
- MAIER, G. (1989) : Variable life cycles in the freshwater copepod *Cyclops vicinus* (Uljanin 1987) : support for the predator avoidance hypothesis ? *Arch. Hydrobiol.*, 115 (2), 203-219.



## ANNEXE 1

### LISTE DES ORGANISMES RENCONTRÉS DANS LE LÉMAN (SHL2) EN 2002 ZOOPLANKTON OBSERVED IN LAKE GENEVA (SHL2) IN 2002

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>ROTIFÈRES</b></p> <p>Brachionidae<br/> <i>Keratella cochlearis</i><br/> <i>K. cochlearis</i> var. <i>hispida</i><br/> <i>Keratella quadrata</i><br/> <i>Keratella tecta</i><br/> <i>Notholca caudata</i><br/> <i>Kellicottia longispina</i></p> <p>Trichocercidae<br/> <i>Trichocerca rousseleti</i></p> <p>Gastropodidae<br/> <i>Ascomorpha ovalis</i></p> <p>Synchaetidae<br/> <i>Synchaeta lakowitziana</i><br/> <i>Synchaeta oblonga</i><br/> <i>Polyarthra dolichoptera</i><br/> <i>Polyarthra vulgaris</i><br/> <i>Ploesoma truncatum</i></p> <p>Asplanchnidae<br/> <i>Asplanchna priodonta</i></p> <p>Testudinellidae<br/> <i>Pompholyx sulcata</i></p> <p>Conochilidae<br/> <i>Conochilus unicornis</i></p> <p>Filiniidae<br/> <i>Filinia terminalis</i></p> <p>Collotheceidae<br/> <i>Collothea pelagica</i><br/> <i>Collothea</i> sp</p> | <p><b>BRANCHIOPODES</b> (ex CLADOCÈRES)</p> <p>Daphniidae<br/> <i>Daphnia galeata</i><br/> <i>Daphnia hyalina</i><br/> <i>D. hyalina</i> var. <i>pellucida</i><br/> <i>D. hybrides</i><br/> <i>Daphnia longispina</i></p> <p>Bosminidae<br/> <i>Bosmina longirostris</i><br/> <i>Eubosmina longispina</i><br/> <i>Eubosmina mixta</i></p> <p>Polyphemidae<br/> <i>Bythotrephes longimanus</i></p> <p>Leptodoridae<br/> <i>Leptodora kindtii</i></p> <p><b>CYCLOPOÏDES</b></p> <p><i>Acanthocyclops viridis</i><br/> <i>Cyclops abyssorum prealpinus</i><br/> <i>Cyclops vicinus</i></p> <p><b>CALANOÏDES</b></p> <p><i>Eudiaptomus gracilis</i></p> <p><b>MOLLUSQUES</b></p> <p><i>Dreissena polymorpha</i></p> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|



# RÉGIME ALIMENTAIRE DES CORÉGONES DU LÉMAN EN MILIEU PÉLAGIQUE

## DIET OF THE WHITEFISH IN PELAGIC ZONE OF LAKE GENEVA

Campagne 2002

PAR

Daniel GERDEAUX

Avec la collaboration technique de Valérie HAMELET

STATION D' HYDROBIOLOGIE LACUSTRE (INRA-UMR/CARTEL), 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 2002 selon le même protocole qu'en 1999 et 2000. Les corégones mesurent entre 33 et 46 cm de longueur totale pour une moyenne de 39.4 cm. Les proies de ces poissons sont pour l'essentiel des Cladocères : Daphnies, Bythotrephes et Leptodora. Leptodora est une proie estivale. La part des Daphnies dans le régime alimentaire des corégones diminue au cours des 4 années d'observation, celle de Bythotrephes augmente en contrepartie. Au travers de l'alimentation du corégone on observe une tendance qui traduit des changements réguliers progressifs des structures zooplanctoniques. L'analyse intégrée de ces données biologiques est présentée dans la note de synthèse.*

### ABSTRACT

*The diet of adult pelagic whitefish was investigated monthly in fish caught in drift nets by commercial fisheries in 2002, using the same protocol as in 1999 and 2000. The whitefish had a total length of between 33 and 46 cm, with a mean value of 39.4 cm. The main prey of these fish are Cladocera : daphnids, Bythotrephes and Leptodora. Leptodora is a prey in the summer. The proportion of daphnids in the diet of the whitefish has fallen during the 4-year observation period, whereas the proportion of Bythotrephes has risen. From the diet of the whitefish, a tendency can be observed that reflects a progressive shift in zooplankton structures. An overall analysis of these biological data is given in the summary report.*

### 1. INTRODUCTION

La charge en phosphore diminue régulièrement dans le Léman suite à la forte réduction des apports, obtenue grâce aux efforts engagés. Au moment du maximum de l'eutrophisation, la production phytoplanctonique était très importante. Le broutage exercé par le zooplancton ne pouvait pas limiter de façon notable la production algale et les poissons, qui sont au sommet du réseau trophique, n'avaient a priori que peu d'impact sur le fonctionnement du système. Actuellement, l'état trophique du système, l'efficacité du pacage lacustre et de la gestion piscicole conduisent à tenir compte du fait que le compartiment pisciaire peut jouer un rôle dans le fonctionnement du lac et sa dynamique planctonique. 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 CRETENOT *et al.* (1996) et de nombreux articles de synthèses 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). Ces dernières années, la population de corégones, soutenue par l'alevinage, est en forte expansion alors que les captures de perche fluctuent beaucoup et que celles de gardon diminuent (figure 1). Les captures de brochet sont en augmentation régulière depuis 1999. Le développement des herbiers de *Chara*, frayère affectionnée par le brochet, est favorable à la reproduction de cette espèce. Mais cette bonne dynamique est constatée dans beaucoup de lacs péri-alpins. Ce synchronisme incite à penser que le climat est un facteur déterminant primordial.

En consommant 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 sur 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. Cette espèce est planctonophage pendant toute sa vie. En 1999 et 2001, une étude du régime alimentaire des corégones et des gardons a été entreprise dans le but de mieux comprendre la dynamique du compartiment pélagique du Léman. Le coût a été limité en utilisant les poissons capturés par la pêche professionnelle. En 2002, l'étude a été restreinte au corégone. Les données du régime alimentaire de cette espèce constituent une information considérée comme suffisante.

## 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 (décembre-octobre), 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. De janvier à octobre, les poissons sont capturés en zone pélagique au large de Séchex (France). 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 de formol. 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 (Cyclopoides 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 145 corégones échantillonnés est de 39,4 cm de longueur totale (figure 2). Le plus petit poisson mesurait 33 cm, le plus gros 46 cm. La plupart des poissons 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 et il n'est pas rare de trouver des corégones dont l'estomac est vide ou partiellement rempli (figure 3). Ce type de résultat ne traduit en rien un manque de nourriture potentielle, mais seulement une faible activité biologique du poisson en eaux froides. Par contre, la présence de corégones à l'estomac vide en août et septembre révèle un manque de disponibilité alimentaire.

Les corégones ont toujours l'estomac bien rempli d'avril à juillet. En hiver 2002, les corégones présentent des estomacs moins fréquemment remplis que les années précédentes. En août et septembre, le taux de vacuité est semblable aux autres années.

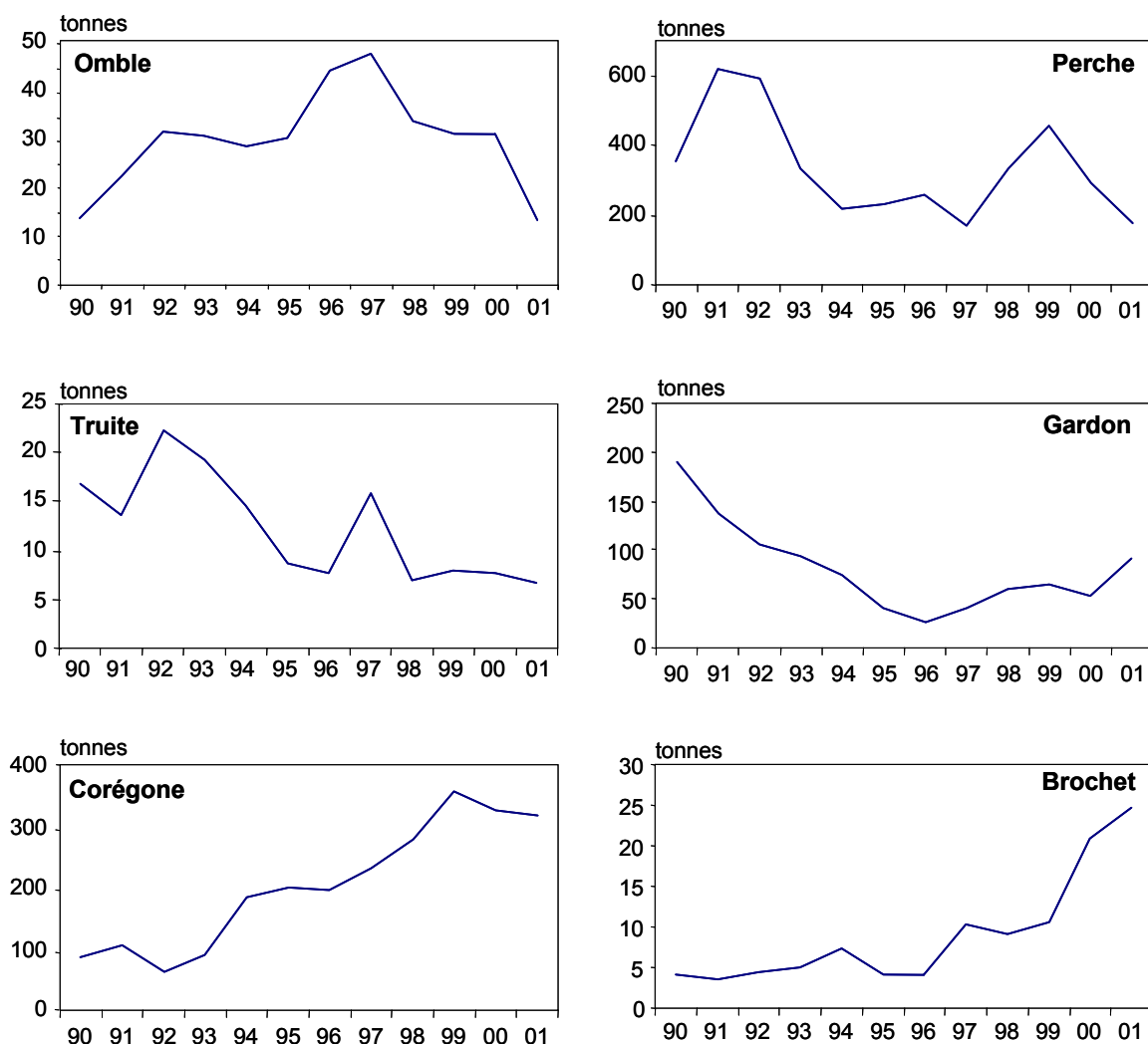


Figure 1 : Evolution de 1990 à 2001 des tonnages de la pêche professionnelle au Léman pour les principales espèces exploitées

Figure 1 : Change from 1990 to 2001 in the tonnages of the main species caught by commercial fisheries in lake Geneva

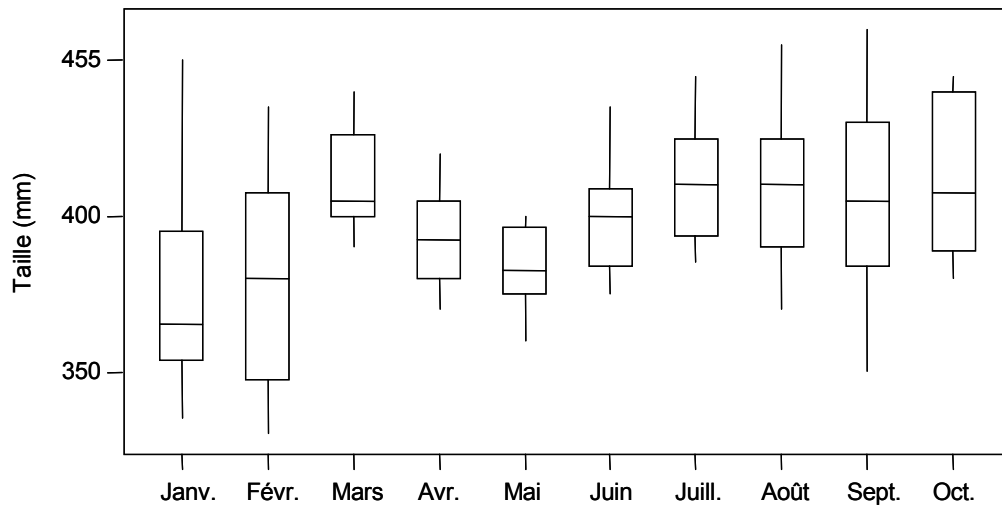


Figure 2 : Répartition des tailles des poissons dont l'estomac a été analysé en 2002. Représentation en "boîte à moustaches" où la ligne au travers de la boîte est au niveau de la médiane, le bas de la boîte est le premier quartile (Q1) et le haut est le troisième quartile (Q3). Les moustaches sont les 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  $Q1 + 1.5 (Q3 - Q1)$

Figure 2 : Distribution of the sizes of fish of which the stomach contents were analyzed in 2002. "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 value reported that are still within the zone defined by the lower limit of  $Q1 - 1.5 (Q3 - Q1)$  and by the upper limit of  $Q1 + 1.5 (Q3 - Q1)$

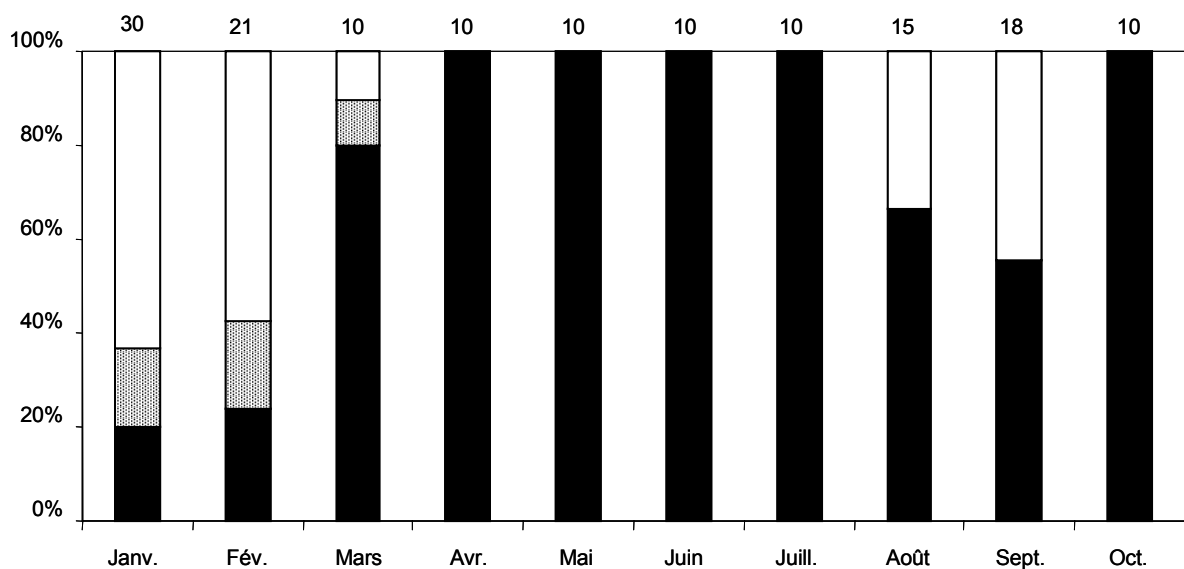


Figure 3 : Evolution mensuelle du taux de vacuité des estomacs analysés de corégone en 2002 au Léman. En noir est représentée la classe des estomacs pleins, en blanc celle des estomacs vides et en grisé celle des estomacs partiellement remplis. Le chiffre porté au dessus de chaque barre représente le nombre d'estomacs prélevés

Figure 3 : Monthly change in the degree of emptiness of the whitefish stomachs analyzed in 2002 in lake Geneva. The full stomachs are shown in black, the empty stomachs in white and the partially filled stomachs are shown by the hatched area. The figure shown above each bar indicates the number of stomachs sampled

### 3.3 Composition du régime alimentaire

Les résultats présentés de façon synthétique en pourcentages mensuels sont représentatifs de la variabilité saisonnière (figure 4).

En 2002, on trouve essentiellement des proies pélagiques dans les estomacs des corégones et principalement des Cladocères : Daphnies, *Bythotrephes* et *Leptodora*. Des Cyclopoïdes, rarement présents dans les estomacs de corégone au Léman, sont trouvés en janvier et février. La présence des Cyclopoïdes traduit un manque d'accessibilité des autres ressources alimentaires et correspond souvent avec les mois où le taux de vacuité des estomacs est plus élevé. La présence de larves et de nymphes de chironomides en février et mars est liée au fait qu'à cette période de l'année 2002, les corégones n'étaient pas pêchés au large en zone pélagique, mais assez près du littoral. Par contre, la présence de nymphes de chironomes en septembre et octobre 2002 comme en 1999 traduit sans doute un manque de ressource alimentaire zooplanctonique.

Plus que les autres années, 2002 est caractérisée par la prépondérance des grands Cladocères prédateurs *Bythotrephes* et *Leptodora* dans les estomacs. On note une nette tendance à la diminution de la part des Daphnies dans le régime alimentaire du corégone (figure 5). En janvier et février, la fréquence des daphnies passe de 50% à 0 en 4 ans. Les Daphnies représentent toujours une part importante du contenu stomacal en mars-avril-mai. On note toutefois la même tendance à la diminution. Pendant l'été, les daphnies ne sont pas souvent présentes dans les estomacs de corégone. En septembre-octobre, on retrouve la même tendance à la diminution de la part des Daphnies. C'est *Bythotrephes* qui remplace les Daphnies dans les estomacs et parfois les chironomides. Il n'y a pas de tendance nette dans la contribution de *Leptodora* qu'on retrouve toujours en été dans les estomacs.

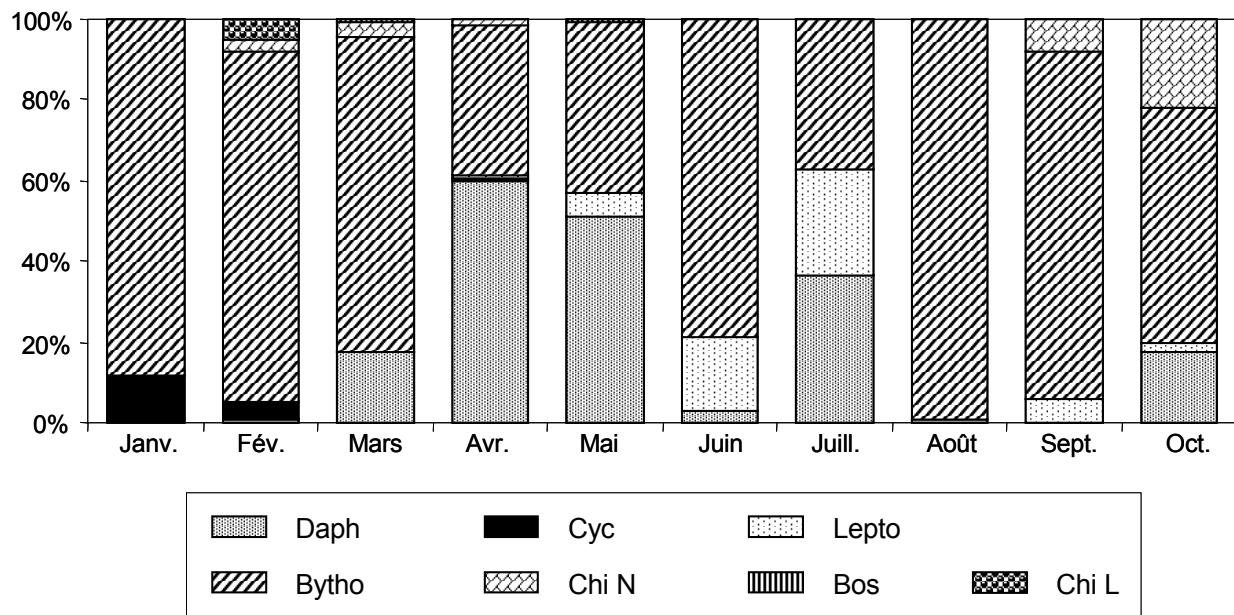


Figure 4 : Evolution mensuelle des pourcentages volumétriques dans les estomacs de corégone en 2002 au Léman

Figure 4 : Monthly change in the percentages in terms of volume of the prey species in the stomachs of the whitefish in 2002 in lake Geneva

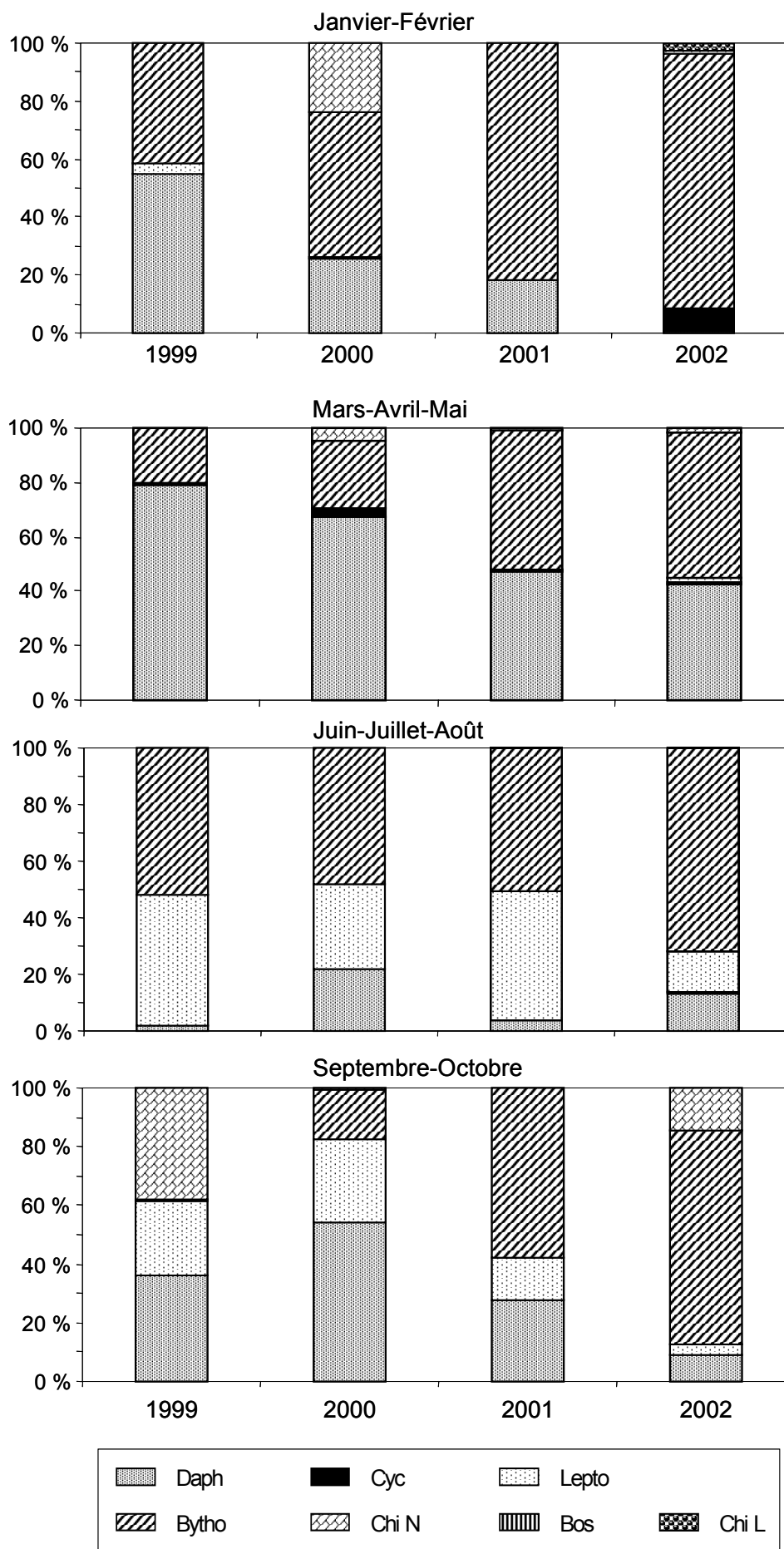


Figure 5 : Evolution saisonnière de 1999 à 2002 des contenus stomacaux du corégone au Léman  
 Figure 5 : Seasonal changes from 1999 to 2002 in the whitefish stomach contents in lake Geneva



#### 4. CONCLUSIONS

La présence importante d'une proie dans les estomacs ne traduit pas son abondance absolue, seulement son existence dans le milieu et son accessibilité par rapport à d'autres proies. Au contraire, l'absence d'une proie préférentielle dans les estomacs des individus d'une espèce traduit bien l'absence de cette proie dans le milieu naturel.

Les 4 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., CRETENOT, L., 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.
- CRETENOT, L., GERDEAUX, D., ANGELI, N., 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., HAMELET, V. (2000) : Régime alimentaire des corégonides 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., 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) : Stomach content analysis - a review of methods and their application. J.Fish.Biol., 17, 411-429.
- KITCHELL, J.F., 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., JACOBSON P.T. (1990) : Seasonal regulation of *Daphnia* populations by planktivorous fish : Implications for the spring clear-water phase. Limnol. Oceanogr., 35, 1718-1733.
- MOOKERJI, N., HELLER, C., MENG, H.J., BURGI, H.R., 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.



## **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 2002**

PAR

**Philippe QUETIN et Jean-Marcel DORIOZ**

STATION D'HYDROBIOLOGIE LACUSTRE (INRA-UMR/CARRETEL), 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

#### **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 sept affluents complémentaires qui sont eux soit proportionnels au temps (en continu ou un 24 heures par mois) soit instantanés (une à deux fois par mois). Les exportations du lac sont contrôlées sur le Rhône émissaire à Genève. Enfin, les analyses sur le Rhône aval (à Chancy) et ses principaux tributaires de la région genevoise ont permis de dégager l'importance des apports du bassin versant du Rhône entre sa sortie du Léman et son entrée sur le territoire français.*

*Bien que l'année 2002 soit une année de pluviométrie relativement élevée au voisinage du Léman, les débits moyens annuels sont légèrement inférieurs à la moyenne de la période 1981-2000.*

*En 2002, les apports en phosphore total au lac par les quatre rivières principales ont été de 1'010 tonnes. Le Rhône amont représente 91.5 % de ces apports. Les sept rivières complémentaires apportent 48 tonnes de phosphore total au Léman.*

*Les apports en phosphore dissous des quatre rivières principales (53.1 tonnes, dont 40.2 pour le Rhône amont) et des rivières complémentaires (6.7 tonnes) sont du même niveau que ceux de 2000. Les concentrations moyennes annuelles sont, dans certaines rivières, telles la Chamberonne (56 µgP/L), la Dullive (44 µgP/L) et la Morges (42 µgP/L), encore relativement élevées.*

*Les concentrations en azote minéral total varient de 0.65 mgN/L dans la Dranse à 5.2 mgN/L dans la Morges. La Venoge, ainsi que deux rivières complémentaires, la Morges et l'Eau froide, dépassent la concentration moyenne annuelle de 3 mgN/L.*

*Les apports en chlorure sont en baisse avec 53'600 tonnes dans les rivières principales. Les sept affluents complémentaires apportent 2'470 tonnes. La concentration moyenne annuelle pondérée par les débits dans les rivières complémentaires (7.97 mgCl/L) est du même ordre que celle des rivières principales (8.1 mgCl/L).*

*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 1.3, on constate que les nitrates sont multipliés par un facteur de 3, le phosphore total augmente d'un facteur 3.2 et le phosphore dissous d'un facteur 3.6.*

#### **ABSTRACT**

*The input into lake Geneva from the rivers is calculated from the results of analyses of either continuous water samples proportional to the rate of flow in the four main tributaries (the Rhône further upstream, the Dranse, the Aubonne and the Venoge) or samples from seven minor tributaries, which were either proportional to time (continuous or 24 hours per month) or instantaneous (once or twice a month). The outputs from the lake were checked in the Rhône flowing out from Geneva. Finally, tests of the Rhône further downstream (at Chancy) and its main tributaries in the Geneva region were used to identify the extent of inputs from the catchment area of the Rhône between its emergence from lake Geneva and where it enters French territory.*

*Although the year 2002 was a year with a relatively high rainfall in the neighborhood of lake Geneva, the mean annual flow rates were slightly lower than the mean value for 1981-2000.*

*In 2002, the inflow of total phosphorus into the lake from the four main tributaries was 1'010 tons. The Rhône further upstream was the source of 91.5 % of this inflow. The seven secondary tributaries carried 48 tons of total phosphorus into lake Geneva.*

*The dissolved phosphorus inflow from the four main tributaries (53.1 tons, 40.2 tons from the Rhône further upstream) and from the secondary tributaries (6.7 tons) was the same as in 2000. The mean annual concentrations in some of the tributaries, such as the Chamberonne (56 µgP/L), the Dullive (44 µgP/L) and the Morges (42 µgP/L), were still relatively high.*

*The concentrations of total inorganic nitrogen ranged from 0.65 mg N/L in the Dranse to 5.2 mg N/L in the Morges. Concentrations in the Venoge, and two secondary tributaries, the Morges and the Eau froide, were higher than the mean annual concentration of 3 mg N/L.*

*The chloride inflow had fallen, with 53'600 tons in the main tributaries. The seven secondary tributaries contributed 2'470 tons. The mean annual concentration, weighted to allow for the flow in the secondary tributaries (7.97 mg Cl/L), was of the same order as that in the main tributaries (8.1 mg Cl/L).*

*The determinations carried out in the various rivers downstream from the lake were used to assess the contribution of the drainage 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 when flow rates increased by a factor of 1.3, the nitrates increased threefold, the total phosphorus increased by a factor of 3.2 and the dissolved phosphorus increased by a factor of 3.6.*

## **1. GÉNÉRALITÉS**

En 2002, 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 et au pont de Bioge pour les débits, 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.

Plusieurs affluents complémentaires, tous situés sur la côte suisse, ont été suivis : la Versoix, la Promenthouse, la Dullive, la Morges, la Chamberonne, la Veveyse 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 ainsi que l'Allondon permettent de déterminer les bilans des apports de l'agglomération genevoise.

Les prélèvements ainsi que 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-UMR/CARTEL), 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, 2003).

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 débit, intégré sur 1 ou 2 semaines | Proportionnel au temps, intégré sur 1 semaine | Proportionnel au temps, intégré sur 24 heures (1 x mois) | Instantané (1 à 2 x mois) |
|------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------|
| <b>Bassin du Léman</b>       |                                                     |                                               |                                                          |                           |
| <b>Rhône - Porte du Scex</b> | x <sup>1</sup>                                      |                                               |                                                          |                           |
| <b>Dranse</b>                | x <sup>1</sup>                                      |                                               |                                                          |                           |
| <b>Aubonne</b>               | x <sup>1</sup>                                      |                                               |                                                          |                           |
| <b>Venoge</b>                | x <sup>1</sup>                                      |                                               |                                                          |                           |
| Versoix                      |                                                     |                                               |                                                          | x <sup>3</sup>            |
| Veveyse                      |                                                     | x                                             |                                                          |                           |
| Promenthouse                 |                                                     | x                                             |                                                          |                           |
| Chamberonne                  |                                                     | x                                             |                                                          |                           |
| Eau Froide                   |                                                     |                                               | x                                                        |                           |
| Morges                       |                                                     | x                                             |                                                          |                           |
| Dullive                      |                                                     |                                               | x                                                        |                           |
| <b>Rhône émissaire</b>       | x <sup>2</sup>                                      |                                               |                                                          |                           |
| <b>Bassin du Rhône aval</b>  |                                                     |                                               |                                                          |                           |
| Arve                         |                                                     |                                               |                                                          | x                         |
| Allondon                     |                                                     |                                               |                                                          | x                         |
| <b>Rhône à Chancy</b>        | x <sup>2</sup>                                      |                                               |                                                          |                           |

<sup>1</sup> = intégré sur une semaine

<sup>2</sup> = intégré sur deux semaines

<sup>3</sup> = instantané 2 fois par mois

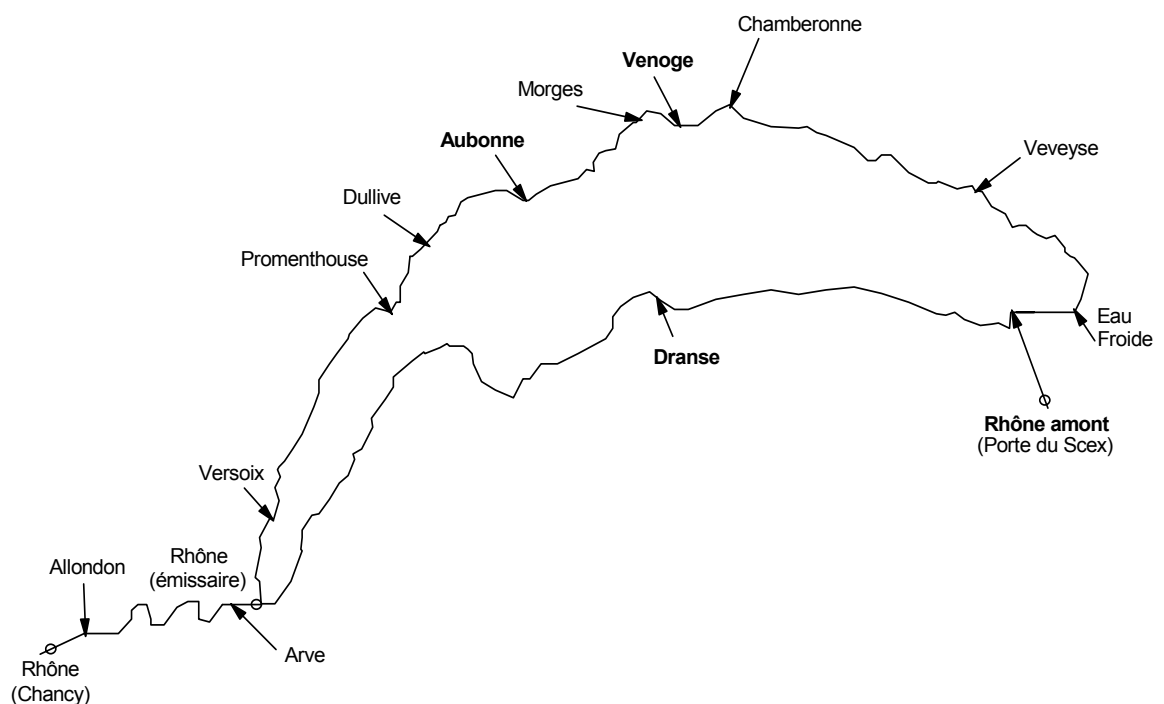


Figure 1 : Situation des diverses rivières étudiées

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 2002 est une année à pluviométrie relativement élevée (surtout lors du dernier trimestre) avec une lame d'eau précipitée de l'ordre de 1'210 mm (QUETIN, 2003). Toutefois, les débits moyens des rivières principales, ainsi que la moyenne décadaire (1983-2002) sont en baisse par rapport à 2001.

Tableau 2 : Débits des affluents principaux et de l'émissaire (m<sup>3</sup>/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 émissaire |
|---------|-------------|--------|---------|--------|--------------------------|-----------------|
| 1983    | 206.0       | 22.7   | 6.5     | 5.2    |                          | 268.0           |
| 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           |
| Moyenne | 187.9       | 20.2   | 5.7     | 4.4    | 12.1                     | 251.3           |

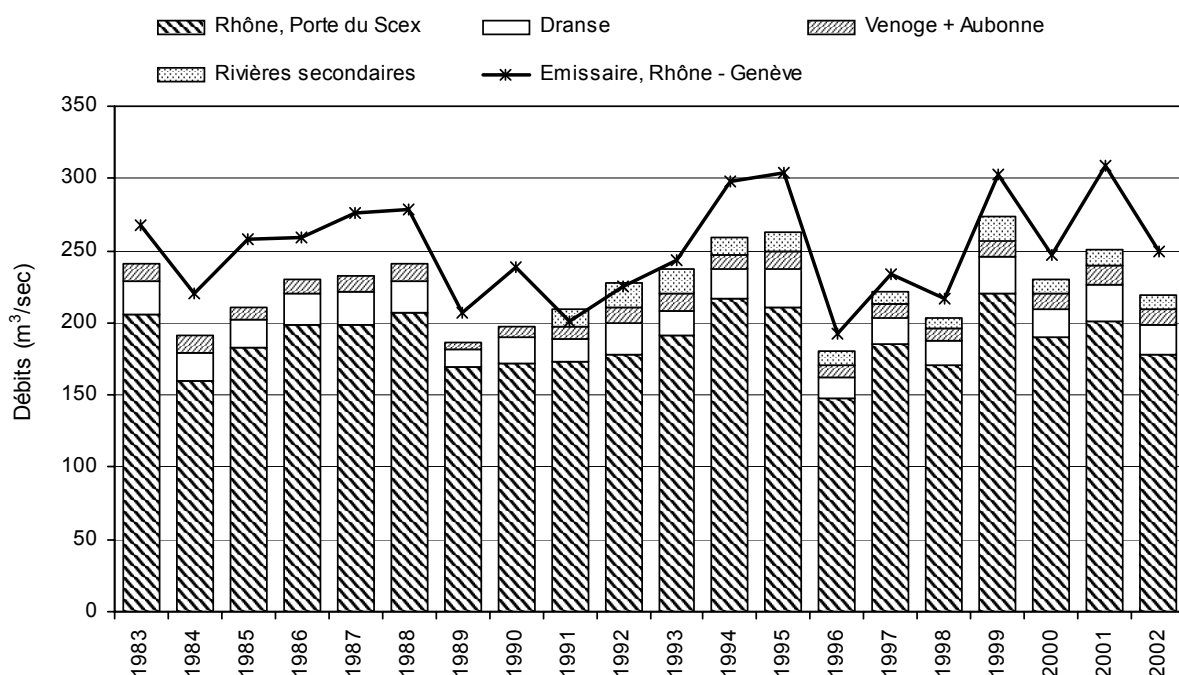


Figure 2 : Débits moyens annuels

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)

$$Fa = \sum_{1}^s Ch \cdot Qh \qquad C_{moy} = \frac{Fa}{\sum_{1}^s Qh}$$

avec  $Fa$  = flux annuel  
 $Ch$  = concentration de l'échantillon intégré, hebdomadaire (ou bimensuel)  
 $Qh$  = volume d'eau de la période correspondante  
 $s$  = 52 (échantillonnage hebdomadaire)  
 26 (échantillon bimensuel)  
 $C_{moy}$  = concentration moyenne annuelle pondérée

- Pour les rivières à échantillonnage mensuel

$$F_{moy} = \frac{\sum_{1}^n Ci \cdot Qi}{n} \qquad C_{moy} = \frac{F_{moy}}{Q_{moy}}$$

avec  $F_{moy}$  = 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  
 $Q_{moy}$  = débit moyen annuel

#### 3.1 Phosphore (figures 3 à 5)

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 ( $PO_4$ ) 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 1'010 tonnes pour l'année 2002, soit 110 tonnes de moins par rapport à 2001. Ils sont de 920 tonnes pour le Rhône-amont. Les valeurs pour l'année 2002 sont égales à la médiane de la période 1980-2002. La valeur du phosphore total dans le Rhône émissaire est depuis 1988 relativement stable, son évolution depuis 1980 suit une loi logarithmique avec un coefficient de corrélation  $r^2 = 0.83$ . La Dranse suit le même type d'évolution avec un coefficient de 0.72.

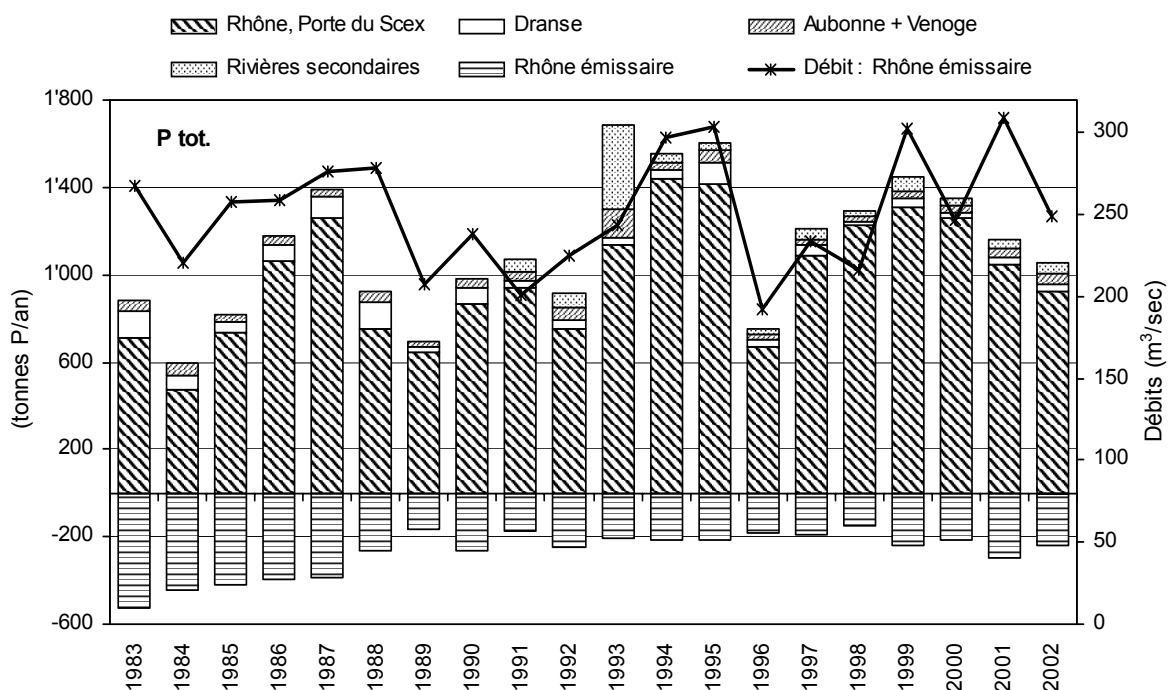


Figure 3 : Phosphore total - Apports annuels par les affluents principaux et complémentaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac)

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)

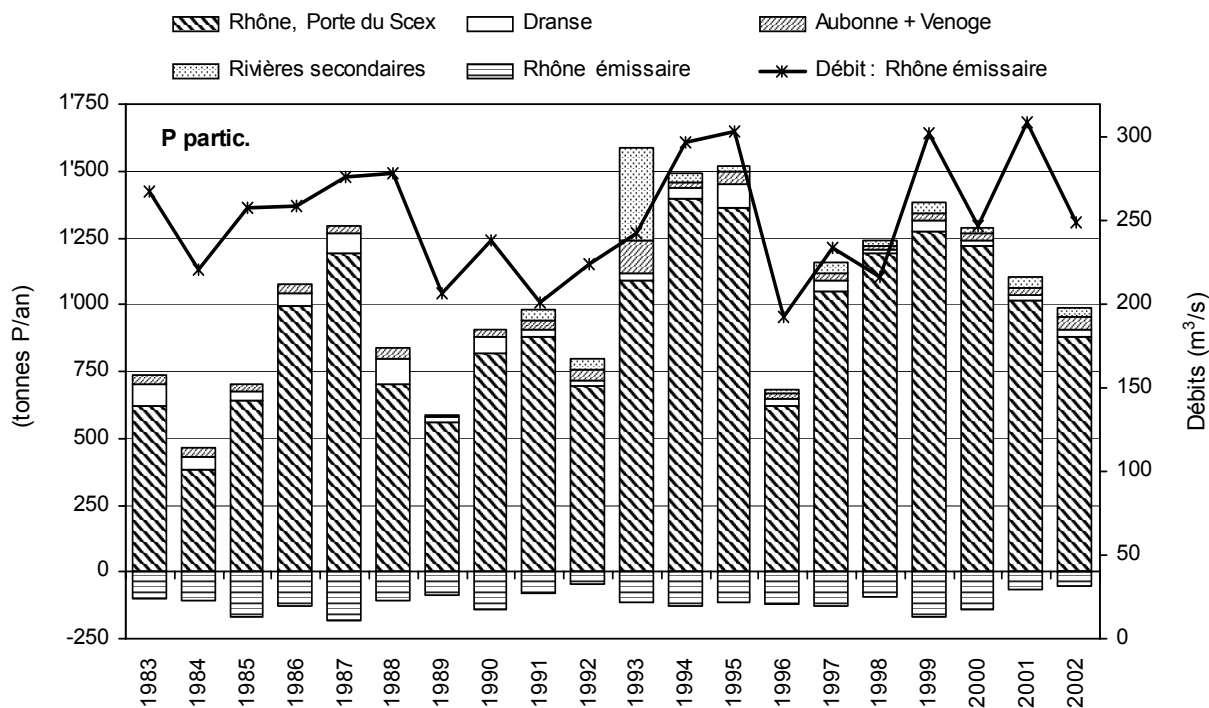


Figure 4 : Phosphore particulaire - Apports annuels par les affluents principaux et complémentaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac)

Figure 4 : Particulate 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 (53.1 tonnes, dont 40.2 pour le Rhône amont) est en légère augmentation (+ 4 tonnes) par rapport à 2001. Pour les rivières complémentaires (6.7 tonnes, cf. 4.1) il y a une légère diminution (- 1.2 tonnes). L'émissaire du lac à Genève est en augmentation (+ 6.5 tonnes). Mais globalement l'évolution des flux de phosphore dissous dans le Rhône émissaire depuis 1980 suit une loi logarithmique avec un coefficient de corrélation  $r^2 = 0.90$ . Pour le Rhône amont son évolution est du type exponentiel avec un coefficient de corrélation  $r^2 = 0.73$ .

Les concentrations moyennes annuelles pondérées par les débits se répartissent comme suit : 7.1 µgP/L pour le Rhône amont, 8.0 µgP/L pour la Dranse, 17.7 µgP/L pour l' Aubonne et 29.2 µgP/L pour la Venoge.

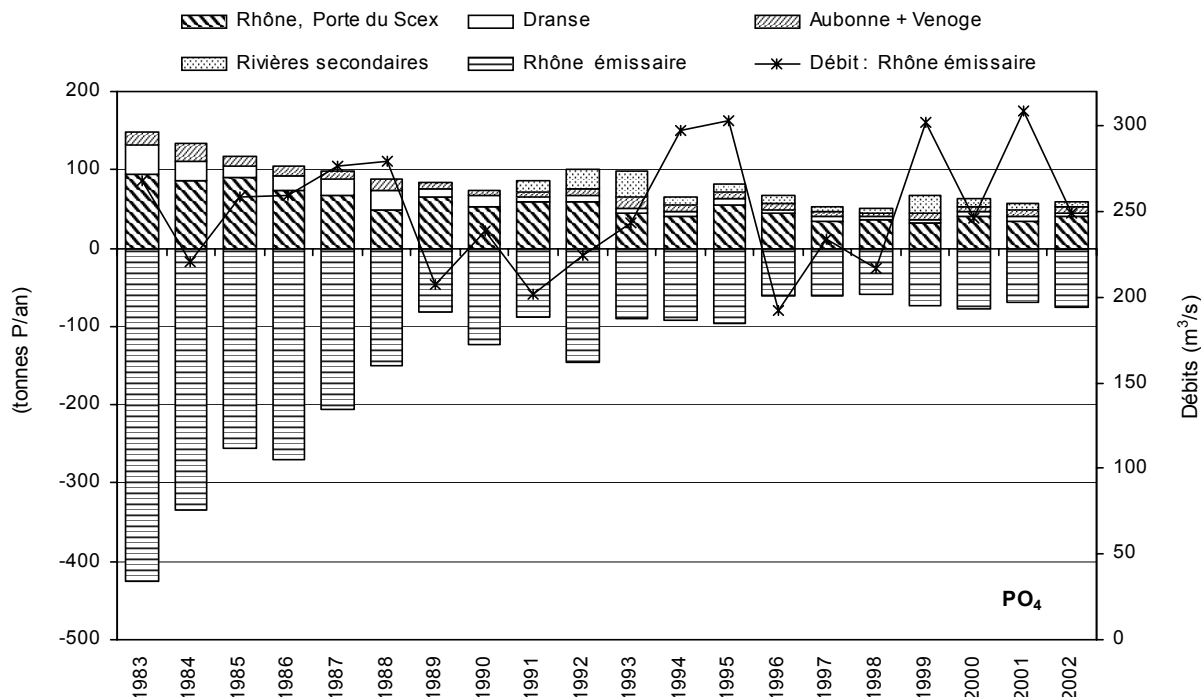


Figure 5 : Phosphore dissous (orthophosphate) - Apports annuels par les affluents principaux et complémentaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac)

Figure 5 : 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)

### 3.2 Azote minéral et organique (tableau 3 et figures 6 à 8)

Pour l'azote total (azote minéral et organique) dans le Rhône amont, les apports en 2002 (3'869 tonnes) sont plus faibles que la moyenne interannuelle 1980-2002 (5'502 tonnes). C'est la première fois depuis 1980 que l'azote total est inférieur à 4'000 tonnes. L'évolution de l'azote total pour la Dranse est stable au niveau de sa médiane 1980-2002 (539 tonnes).

Représentés à plus de 90 % par l'azote nitrique, les apports en azote minéral total par les rivières principales s'élèvent à 4'150 tonnes. Le Rhône amont représente 71 % du total des apports des rivières principales. L'évolutions des apports depuis 1980 est toujours en relative stabilité.

Les exportations d'azote nitrique par l'émissaire en 2002 sont de 2'139 tonnes, total inférieur à la moyenne 1980 - 2002 (3'137 t).

Tableau 3 : Apports annuels en azote total (t N/an) et concentrations moyennes annuelles pondérées - Rhône Porte du Scex et Dranse.

Table 3 : Annual inflow of total nitrogen (tons N/year) and weighted mean annual concentrations - the Rhône Porte du Scex and the Dranse

| Année   | Rhône amont |       | Dranse |       |
|---------|-------------|-------|--------|-------|
|         | tonnes      | mgN/L | tonnes | mgN/L |
| 1983    | 5'685       | 0.880 | 531    | 0.740 |
| 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 |
| Moyenne | 5'502       | 0.937 | 517    | 0.811 |

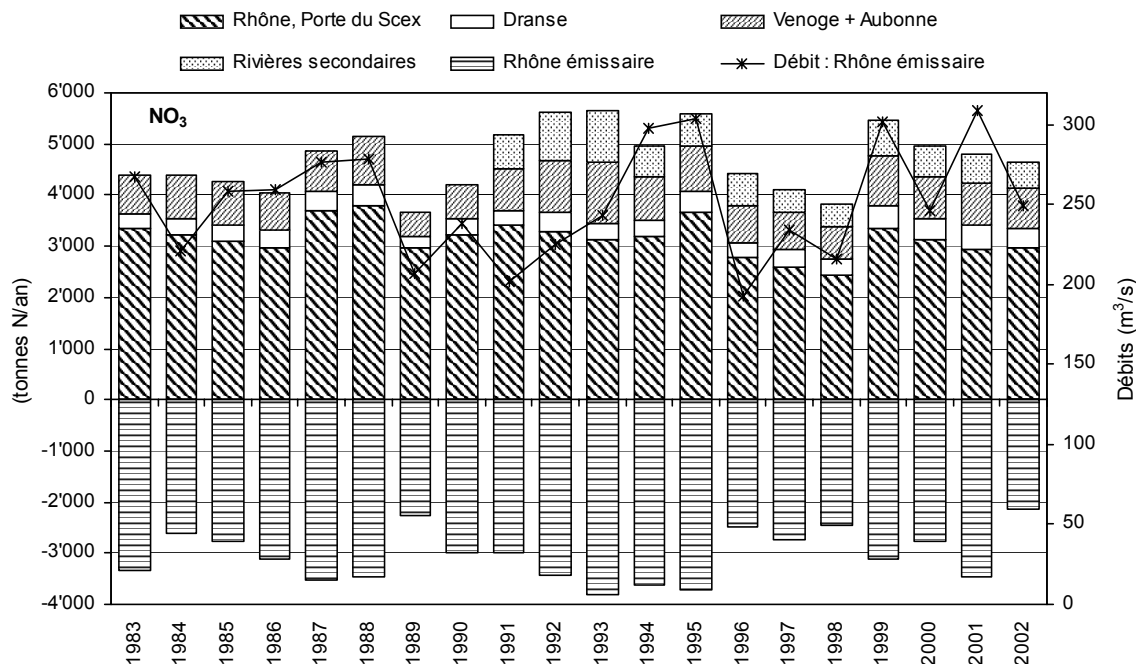


Figure 6 : Azote nitrique - Apports annuels par les affluents principaux et complémentaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac)

Figure 6 : 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)

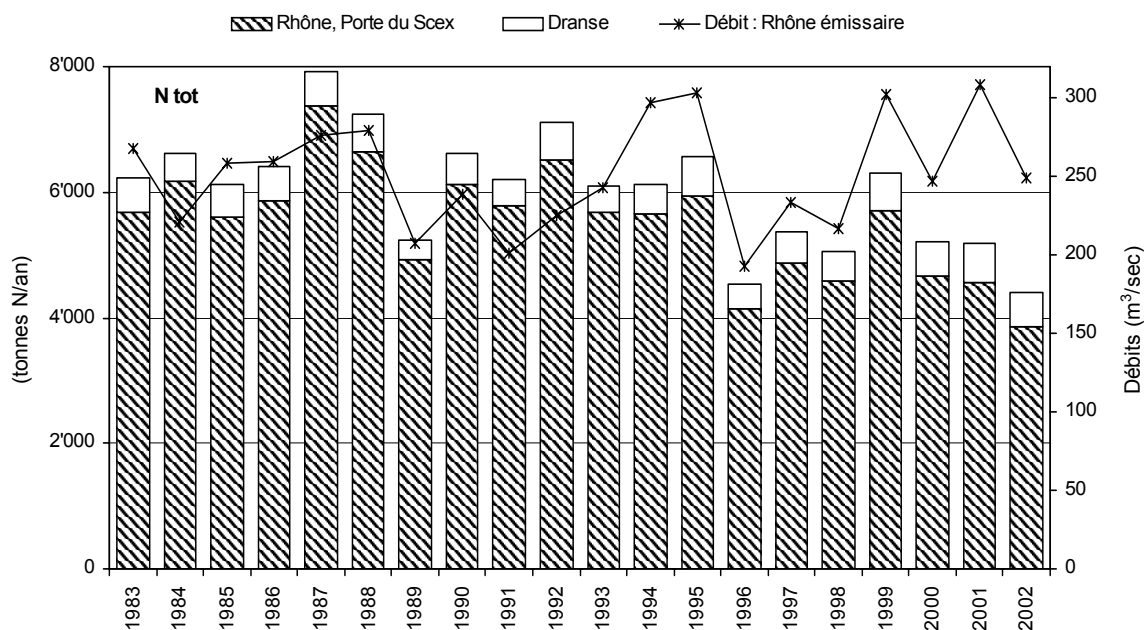


Figure 7 : Azote total - Apports annuels par les affluents principaux et complémentaires. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac)

Figure 7 : 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 9)

Pour 2002, la concentration moyenne, pondérée par le débit, en chlorure pour les 4 affluents principaux est de 8.1 mgCl/L et les apports totaux par les rivières principales atteignent 53'600 t.

La teneur moyenne dans les eaux du Rhône à l'émissaire atteint 7.3 mgCl/L (la même qu'en 2001), ce qui correspond en terme de bilan à une perte annuelle de 57'030 t.

L'évolution de la valeur du chlorure dans le Rhône amont depuis 1980 suit une loi linéaire avec un coefficient de corrélation  $r^2 = 0.89$ . L'évolution de l'émissaire est du même type avec un coefficient de corrélation  $r^2 = 0.57$ .

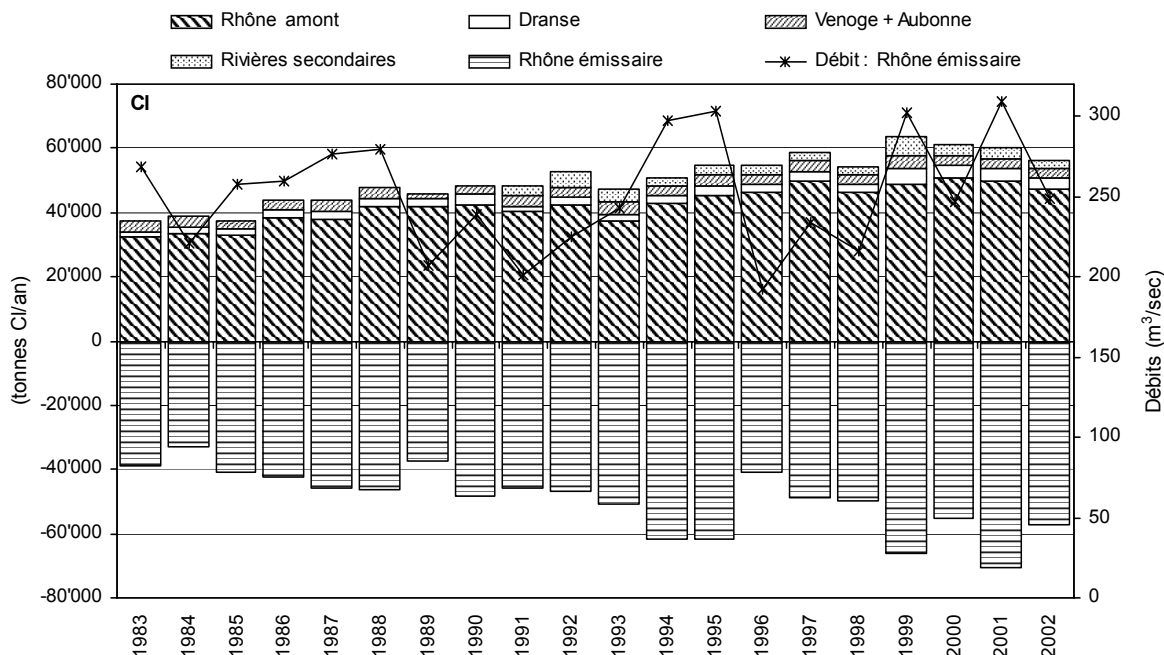


Figure 8 : Chlorure - Apports annuels par les affluents principaux et complémentaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac)

Figure 8 : 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 1.13 mgC/L pour le Rhône-amont à 4.00 mgC/L pour la Morges.

La concentration de COD dans les eaux du Rhône émissaire est de 1.28 mgC/L pour l'année 2002, alors que la concentration moyenne annuelle pondérée par les débits de l'ensemble des rivières principales et complémentaires considérées est de 1.33 mgC/L.

Les concentrations moyennes annuelles en carbone organique total dans les eaux sont de 3.09 mgC/L pour le Rhône amont et 2.34 mgC/L pour le Rhône à Chancy. Elles sont de nouveau 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 9.8 m<sup>3</sup>/s, soit 4.5 % des apports mesurés au lac (même pourcentage depuis 2000). Comme pour les affluents principaux, l'ensemble des résultats de la campagne 2002 sur les sept affluents complémentaires du Léman est consigné dans les tableaux 6 et 7.

Les apports de l'Allondon 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 4 : Affluents complémentaires ( + Rhône à Chancy) : débits moyens annuels en m<sup>3</sup>/s

Table 4 : Secondary tributaries ( + Rhône at Chancy) : mean annual flow in m<sup>3</sup>/s

|                                     | 1992  | 1993  | 1994   | 1995   | 1996   | 1997   | 1998   | 1999   | 2000   | 2001  | 2002  |
|-------------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| <b>Bassin versant du Léman</b>      |       |       |        |        |        |        |        |        |        |       |       |
| Versoix                             | 4.66  | 2.87  | 3.17   | 3.65   | 3.35   | 2.74   | 3.07   | 4.63   | 3.30   | 3.88  | 3.49  |
| Stockalper                          | 3.62  | 2.79  | 2.41   | 3.32   | 2.20   |        |        | 3.17   |        | 3.21  |       |
| Veveyse                             | 2.58  | 1.87  | 2.40   | 1.88   | 1.16   | 1.63   | 1.84   | 3.10   | 3.17   | 2.89  | 2.57  |
| Promenthouse                        | 1.41  | 1.72  | 1.30   | 1.97   | 1.23   | 1.79   | 1.43   | 2.64   | 1.90   | 2.25  | 1.78  |
| Chamberonne                         | 0.68  | 0.68  | 1.07   | 1.06   | 0.77   | 0.75   | 0.68   | 1.05   | 0.88   | 1.08  | 0.86  |
| Hermance                            |       |       |        |        |        |        |        |        | 0.54   |       |       |
| Eau Froide                          | 0.29  | 0.78  | 0.53   | 0.55   | 0.33   |        | 0.38   | 0.46   | 0.47   | 0.44  | 0.43  |
| Morges                              | 0.28  | 1.69  | 0.48   | 0.97   | 0.47   | 0.43   | 0.33   | 0.57   | 0.45   | 0.67  | 0.50  |
| Dullive                             | 0.25  | 0.98  | 0.28   | 0.19   | 0.21   | 0.21   | 0.26   | 0.34   | 0.24   | 0.24  | 0.18  |
| Vengeron                            | 0.32  |       |        |        |        |        |        | 0.92   |        |       |       |
| Nant d'Aisy                         |       |       |        |        |        |        |        |        | 0.04   |       |       |
| Mercube                             |       |       | 0.02   |        |        |        |        |        |        |       |       |
| Nant de Pry                         |       |       |        |        |        | 0.17   |        |        |        |       |       |
| Le Brassu                           |       |       |        |        |        | 0.17   |        |        |        |       |       |
| Nant de Brai                        |       |       |        |        |        | 0.08   |        |        |        |       |       |
| <b>Bassin versant du Rhône aval</b> |       |       |        |        |        |        |        |        |        |       |       |
| Arve                                | 92.8  | 62.50 | 84.28  | 90.55  | 71.36  | 63.03  | 65.63  | 103.5  | 72.59  | 92.1  | 61.0  |
| Allondon                            | 6.17  | 3.78  | 3.96   | 3.80   | 4.45   | 3.01   | 3.00   | 0.48   | 3.73   | 5.12  | 3.43  |
| Rhône Chancy                        | 363.0 | 356.5 | 403.57 | 415.67 | 285.37 | 333.09 | 307.30 | 416.00 | 330.01 | 439.1 | 334.6 |

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

En phosphore total, 48.2 tonnes sont amenées par les rivières complémentaires contrôlées.

La charge annuelle en phosphore dissous qui transite par les sept affluents est de 6.7 tonnes. Ce tonnage représente la moitié des apports des 3 rivières principales Dranse, Aubonne et Venoge (hors Rhône) qui s'élèvent à 13 tonnes. Il est à relever l'importance des apports de la Versoix, avec 3 tonnes.

En terme de concentration en orthophosphate, la Chamberonne (55.7 µgP/L), la Dullive (44.1 µgP/L) et la Morges (42.5 µgP/L) sont les rivières présentant les concentrations les plus élevées. Les concentrations sont en légère hausse par rapport à 2001.

## 4.2 Azote minéral total

Les concentrations moyennes annuelles en azote minéral total varient de 0.7 mg N/L pour la Veveyse à 5.2 mg N/L pour la Morges. Les concentrations sont du même ordre de grandeur que les concentrations moyennes annuelles atteintes dans les eaux des rivières principales, notamment la Venoge (3.7 mg N/L) et la Dranse (0.65 mg N/L).

Les apports cumulés de l'ensemble des rivières complémentaires représentent 42 % des apports cumulés de la Venoge, de l'Aubonne et de la Dranse. Globalement, les rivières complémentaires examinées transfèrent 514 tonnes d'azote minéral total au Léman, en baisse par rapport à 2001 (603 tonnes).

## 4.3 Chlorure

Les apports en chlorure des rivières complémentaires atteignent 2'470 tonnes. La baisse par rapport à 2001 est du même ordre de grandeur que celle relevée sur la Dranse (20 %). Par rapport aux quatre rivières principales, les apports des rivières complémentaires représentent 4.6 %. La concentration moyenne annuelle pondérée par le débit dans les rivières complémentaires est de 7.97 mg Cl/L. Les concentrations en chlorure varient entre 5.11 mg Cl/L (l'Aubonne) et 16.5 mg Cl/L (la Morges), et sont en légère augmentation par rapport à 2001.

## 5. BASSIN VERSANT DU RHÔNE DE GENÈVE À CHANCY (figure 10)

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 plusieurs affluents, les deux principaux étant l'Arve (débit moyen 72.5 m<sup>3</sup>/s) et l'Allondon (débit moyen 3.73 m<sup>3</sup>/s). Les débits du Rhône émissaire et de l'Arve constituent 96.7 % 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 huit stations d'épuration (STEP) françaises et de onze STEP suisses dont celle de Genève-Aïre (533'000 EH), totalisant 701'700 EH<sup>1</sup>. Douze de ces installations se déversent directement dans le fleuve (692'800 EH), le reste dans les divers affluents. Aucune ne pratique la déphosphatation et au moins quatre d'entre elles traitent des eaux d'origine industrielle. Le bassin de l'Arve, en amont du Rhône, compte trente-six STEP qui totalisent 401'300 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.

La figure 10 montre le détail des charges qui transitent par Chancy.

Tableau 5 : Débits en m<sup>3</sup>/s et flux en tonnes/an

Table 5 : Flow in m<sup>3</sup>/s and in tons/year

|                                | Débits<br>m <sup>3</sup> /s | Nitrate<br>(NO <sub>3</sub> )<br>t N/an | Ammonium<br>(NH <sub>4</sub> )<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<br>t SO <sub>4</sub> /an |
|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------|---------------------|-----------------------------------|
| Rhône émissaire                | 249.1                       | 2'139                                   | 335.5                                    | 76.0                                                | 239                          | 10'085                                   | 57'028              | 349'144                           |
| Arve                           | 61.0                        | 1'046                                   | 281.2                                    | 82.0                                                | 169                          | 2'045                                    | 12'816              | 82'107                            |
| Allondon                       | 3.4                         | 187                                     | 7.6                                      | 7.7                                                 | 10                           | 215                                      | 699                 | 8'700                             |
| Bassin versant<br>"genevois" * | 21.1                        | 3'004                                   | 72.7                                     | 111.3                                               | 336                          | 5'118                                    | 19'184              | 43'357                            |
| Rhône Chancy                   | 334.60                      | 6'376                                   | 697.0                                    | 277.1                                               | 755                          | 17'464                                   | 89'726              | 475'435                           |

\* = valeur non mesurée, mais obtenue par soustraction

<sup>1</sup> EH = équivalent habitant à 60 g de DBO<sub>5</sub> par jour

Entre Chancy et le Rhône à l'émissaire le flux de nitrates est augmenté d'un rapport de 3. Le flux de phosphore dissous à Chancy provient à 40 % du bassin dit "genevois" et à 30% de l'Arve. Pour le phosphore total, 45 % proviennent du bassin dit "genevois" et pour le carbone organique dissous 30 %.

Alors que les débits du Rhône émissaire représentent 74.4 % du débit du Rhône à Chancy, la participation du Rhône émissaire dans la charge totale du Rhône à Chancy représente :

27.4 % de la charge en phosphore dissous (orthophosphate)

31.7 % de la charge en phosphore total

33.5 % de la charge en nitrates

48.1 % de la charge d'ammonium

57.7 % de la charge de carbone organique dissous

63.5 % de la charge en chlorure

73.4 % de la charge en sulfates.

Ces participations sont en légère baisse par rapport à 2001 sauf pour le phosphore dissous.

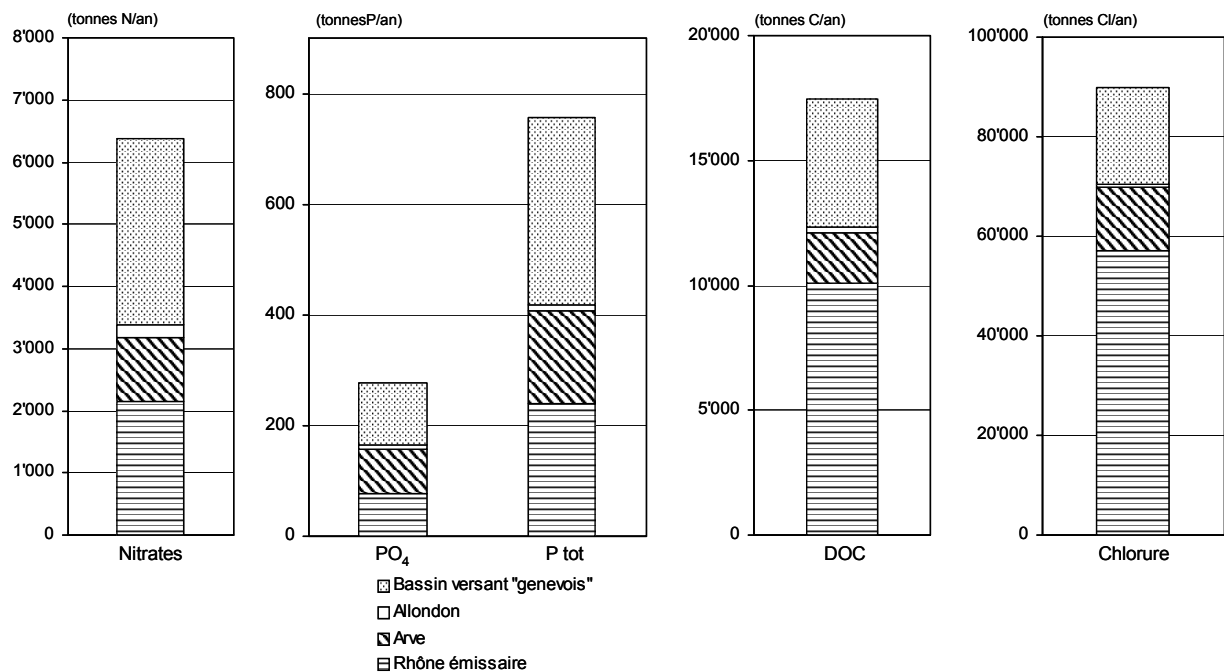


Figure 9 : Charges du Rhône à Chancy en 2002

Figure 9 : Levels in the Rhône at Chancy in 2002

## **6. CONCLUSIONS**

### **6.1 Bassin versant du Léman**

Avec une lame d'eau précipitée de l'ordre de 1'210 mm sur le bassin versant proche du Léman, 2002 est une année de pluviométrie relativement élevée surtout lors du dernier trimestre. Par contre, 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 210 m<sup>3</sup>/s.

Les apports en phosphore total sont de 1'010 tonnes pour les quatre rivières principales. Les apports par le Rhône amont représentent 92 % de ce total. Pour le phosphore dissous, élément directement assimilable par les algues, les apports par les rivières principales (53.1 tonnes) repassent en dessus de 50 tonnes. Les apports par les mêmes rivières complémentaires qu'en 2001 (6.7 tonnes) sont en légère baisse. Ce tonnage représente la moitié des apports des 3 rivières principales Dranse, Aubonne et Venoge (hors Rhône), qui est de 13 tonnes. Il est à relever l'importance des apports de la Versoix, avec 3 tonnes. En terme de concentration moyenne annuelle en phosphore dissous, la Chamberonne atteint le niveau de 56 µg P/L, la Dullive 44 µg P/L et la Morges 42 µg P/L, ces concentrations restent relativement élevées et en légère hausse par rapport à 2001. Depuis 1998, les flux dans le Rhône émissaire sont 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 complémentaires contrôlées, s'élèvent à 4'643 tonnes. Les apports en azote minéral total par le Rhône amont représentent 64 % de l'ensemble des apports des quatre rivières principales et de sept rivières complémentaires. On constate que les 3 mêmes rivières qu'en 2001 ont des concentrations en azote minéral total supérieures à 3 mg N/L; c'est le cas pour la Morges (5.2 mg N/L), la Venoge (3.7 mg N/L), et l'Eau Froide (3.7 mg N/L).

Les apports en chlorure par l'ensemble des rivières contrôlées sont de 56'070 tonnes, soit légèrement moins qu'en 2001. La concentration moyenne pondérée par les débits pour les rivières principales atteint 8.1 mg Cl/L.

### **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 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 1'046 tonnes de nitrates, 281 tonnes d'ammonium, 82 tonnes de phosphore dissous (orthophosphate) et 2'045 tonnes de carbone organique dissous. Le bassin dit "genevois" apporte, quant à lui, 3'004 tonnes de nitrates, 111 tonnes de phosphore dissous et 5'118 tonnes de carbone organique dissous.

La charge du Rhône en éléments fertilisants à la frontière franco-suisse (Chancy) est multipliée par 3 pour le nitrate, par 2 pour le carbone organique dissous et par 1.5 pour le phosphore dissous 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 % pour le nitrate et 30 % pour le phosphore dissous (en légère baisse par rapport à 2001). Pour le bassin dit "genevois", les charges (obtenues par soustraction) représentent 47 % pour le nitrate et 40 % pour le phosphore dissous (le double par rapport à 2001 pour le nitrate, et de même ordre de grandeur pour le phosphore dissous).

## **BIBLIOGRAPHIE**

- QUETIN, P. (2003) : Météorologie. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2002, 19-30.
- STRAWCZYNSKY, A. et PASQUINI, F. (2003) : Analyses comparatives interlaboratoires. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2002, 161-172.



Tableau 6 : Concentrations moyennes en 2002

Table 6 : Mean concentrations in 2002

| 2002                                                   | Débit             | N-NH <sub>4</sub> | N-NO <sub>2</sub> | N-NO <sub>3</sub> | Nmintot | Ntot  | P-PO <sub>4</sub> | Ptot  | Cl    | SO <sub>4</sub> | Ca    | Mg    | Na   | K    | SiO <sub>2</sub> | COD  | COT  | MES   |
|--------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------|-------|-------------------|-------|-------|-----------------|-------|-------|------|------|------------------|------|------|-------|
|                                                        | m <sup>3</sup> /s | µgN/L             | µgN/L             | µgN/L             | µgN/L   | µgN/L | µgP/L             | µgP/L | mg/L  | mg/L            | még/L | még/L | mg/L | mg/L | mg/L             | mg/L | mg/L | mg/L  |
| Concentrations moyennes <b>Bassin versant du Léman</b> |                   |                   |                   |                   |         |       |                   |       |       |                 |       |       |      |      |                  |      |      |       |
| Rhône amont                                            | 178.3             | 42.6              |                   | 527               |         | 688   | 7.1               | 164.0 | 8.39  | 50.81           | 2.03  | 0.46  | 5.96 | 1.46 | 3.12             | 1.13 | 3.09 | 158.1 |
| Dranse                                                 | 20.8              | 31.1              | 8.1               | 608               | 647     | 822   | 8.0               | 47.9  | 5.25  | 51.37           | 3.47  | 0.74  | 3.53 | 0.88 | 3.84             |      |      | 34.7  |
| Aubonne                                                | 6.0               | 18.1              | 7.4               | 1'253             | 1'276   |       | 17.7              | 87.8  | 5.11  | 4.72            | 3.44  | 0.44  | 3.02 | 0.78 | 2.66             | 3.21 |      | 52.2  |
| Venoge                                                 | 4.8               | 53.8              | 23.4              | 3'665             | 3'742   |       | 29.2              | 253.6 | 13.52 | 16.89           | 4.20  | 0.61  | 6.58 | 2.17 | 4.91             | 3.71 |      | 180.5 |
| Versoix                                                | 3.5               | 79.1              | 20.6              | 1'013             | 1'113   | 1'431 | 27.3              | 59.3  | 7.37  | 5.96            | 3.46  | 0.46  | 4.41 | 1.14 |                  | 2.19 |      |       |
| Veveyse                                                | 2.6               | 25.0              | 7.6               | 663               | 696     |       | 5.8               | 292.0 | 5.92  | 13.12           | 3.07  | 0.50  | 5.05 | 1.39 | 4.26             | 3.16 |      | 349.7 |
| Promenthouse                                           | 1.8               | 21.0              | 5.4               | 1'998             | 2'025   |       | 12.7              | 125.6 | 6.45  | 6.22            | 3.87  | 0.56  | 3.53 | 1.28 | 3.98             | 2.73 |      | 107.8 |
| Chamberonne                                            | 0.86              | 62.2              | 26.8              | 2'633             | 2'722   |       | 55.7              | 191.7 | 15.50 | 33.62           | 3.55  | 0.63  | 9.86 | 2.65 | 5.45             | 3.06 |      | 93.4  |
| Morges                                                 | 0.50              | 42.9              | 28.4              | 5'144             | 5'215   |       | 42.5              | 317.9 | 16.50 | 25.93           | 4.60  | 0.86  | 7.47 | 3.41 | 8.01             | 4.00 |      | 227.4 |
| Eau Froide                                             | 0.43              | 107.0             | 8.9               | 3'588             | 3'704   |       | 4.6               | 18.8  | 5.50  | 31.81           | 3.27  | 0.52  | 7.55 | 1.83 | 3.86             | 2.20 |      | 3.2   |
| Dullive                                                | 0.18              | 47.4              | 20.5              | 2'558             | 2'626   |       | 44.1              | 82.8  | 10.51 | 19.59           | 4.77  | 0.92  | 6.24 | 2.25 | 7.70             | 2.82 |      | 18.2  |
| <b>Bassin versant du Rhône aval</b>                    |                   |                   |                   |                   |         |       |                   |       |       |                 |       |       |      |      |                  |      |      |       |
| Rhône émissaire                                        | 249.1             | 42.7              | 11.7              | 272               | 327     | 575   | 9.7               | 30.5  | 7.26  | 44.45           | 2.10  | 0.49  | 5.26 | 1.45 | 0.74             | 1.28 |      |       |
| Arve                                                   | 61.0              | 146.3             | 46.9              | 544               | 737     | 1'011 | 42.7              | 87.9  | 6.66  | 42.70           | 2.76  | 0.46  | 5.08 | 1.30 |                  | 1.06 |      |       |
| Allondon                                               | 3.4               | 70.4              | 30.8              | 1'730             | 1'831   | 2'228 | 71.2              | 95.6  | 6.46  | 7.65            | 4.01  | 0.48  | 4.34 | 1.35 |                  | 1.99 |      |       |
| Rhône Chancy                                           | 334.6             | 61.6              | 25.6              | 604               | 691     | 781   | 26.3              | 71.6  | 8.50  | 45.05           | 2.32  | 0.54  | 5.95 | 1.57 | 1.51             | 1.65 | 2.34 | 21.0  |

Tableau 7 : Flux en 2002

Table 7 : Flow in 2002

| 2002                                | Débit  | N-NH4  | N-NO2  | N-NO3  | Nmintot | NtotBrut | P-PO4  | PtotBrut | Ppartic | Cl     | 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)  |
| <b>Bassin versant du Léman</b>      |        |        |        |        |         |          |        |          |         |        |         |         |        |        |        |        |        |        |         |
| Rhône amont                         | 178.3  | 239.5  |        | 2'965  |         | 3'869    | 40.15  | 922.5    |         | 47'158 | 285'731 | 229'038 | 31'290 | 33'490 | 8'120  | 17'521 | 6'348  | 17'357 | 889'273 |
| Dranse                              | 20.8   | 20.4   | 5.3    | 399    | 425     | 539      | 5.27   | 31.5     | 24.5    | 3'448  | 33'711  | 45'644  | 5'889  | 2'317  | 578    | 2'520  |        |        | 22'766  |
| Aubonne                             | 6.0    | 3.0    | 1.4    | 235    | 240     |          | 3.32   | 16.5     | 12.2    | 961    | 886     | 12'945  | 1'014  | 567    | 147    | 500    | 606    |        | 9'799   |
| Venoge                              | 4.8    | 8.1    | 3.5    | 551    | 563     |          | 4.38   | 38.1     | 32.6    | 2'032  | 2'540   | 12'655  | 1'122  | 989    | 326    | 738    | 557    |        | 27'148  |
| Versoix                             | 3.5    | 8.7    | 2.3    | 112    | 123     | 158      | 3.01   | 6.5      |         | 812    | 657     | 7'633   | 622    | 486    | 126    |        | 242    |        |         |
| Veveyse                             | 2.6    | 2.0    | 0.62   | 53.8   | 56.4    |          | 0.47   | 23.7     | 22.8    | 480    | 1'063   | 4'990   | 496    | 409    | 113    | 346    | 256    |        | 28'350  |
| Promenthouse                        | 1.8    | 1.2    | 0.30   | 112    | 114     |          | 0.71   | 7.0      | 6.1     | 362    | 349     | 4'346   | 383    | 198    | 72     | 223    | 153    |        | 6'046   |
| Chamberonne                         | 0.86   | 1.7    | 0.73   | 71.5   | 73.9    |          | 1.51   | 5.2      | 3.4     | 420    | 913     | 1'931   | 207    | 268    | 72     | 148    | 83     |        | 2'535   |
| Morges                              | 0.50   | 0.67   | 0.45   | 80.8   | 81.9    |          | 0.67   | 5.0      | 4.2     | 259    | 407     | 1'447   | 164    | 117    | 54     | 126    | 63     |        | 3'573   |
| Eau Froide                          | 0.43   | 1.5    | 0.12   | 49.1   | 50.7    |          | 0.06   | 0.26     | 0.14    | 75     | 435     | 896     | 86     | 103    | 25     | 53     | 30     |        | 43      |
| Dullive                             | 0.19   | 0.28   | 0.12   | 14.9   | 15.3    |          | 0.26   | 0.48     | 0.19    | 61     | 114     | 558     | 66     | 36     | 13     | 45     | 16     |        | 106     |
| Total de 11 affluents               | 219.7  | 287.0  |        | 4'644  |         |          | 59.82  | 1'057    |         | 56'068 | 326'807 | 322'084 | 41'339 | 38'981 | 9'724  |        |        |        |         |
| <b>Bassin versant du Rhône aval</b> |        |        |        |        |         |          |        |          |         |        |         |         |        |        |        |        |        |        |         |
| Rhône émissaire                     | 249.1  | 335.5  | 91.9   | 2'139  | 2'567   | 4'513    | 76.04  | 239.4    | 56.0    | 57'028 | 349'144 | 330'134 | 46'403 | 41'313 | 11'364 | 5'819  | 10'086 |        |         |
| Arve                                | 61.0   | 281.2  | 90.3   | 1'046  | 1'417   | 1'944    | 82.01  | 169.1    |         | 12'816 | 82'107  | 106'227 | 10'698 | 9'767  | 2'505  |        | 2'045  |        |         |
| Allondon                            | 3.4    | 7.6    | 3.3    | 187.1  | 198.1   | 241      | 7.70   | 10.3     |         | 699    | 827     | 8'700   | 630    | 470    | 146    |        | 215    |        |         |
| Rhône Chancy                        | 334.6  | 697    | 288.7  | 6'376  | 7'362   | 8'240    | 277.1  | 755.2    |         | 89'726 | 475'435 | 490'742 | 68'705 | 62'839 | 16'542 | 15'950 | 17'464 | 24'658 | 221'171 |

# QUALITÉ DES EAUX POTABLES PRODUITES À PARTIR DU LÉMAN

## QUALITY OF THE DRINKING WATER PRODUCED FROM LAKE GENEVA

Campagne 2002

PAR

**Stéphan RAMSEIER**

avec la collaboration technique de

**Dominique MANTEGAZZI et Yves BERSIER**

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

### RÉSUMÉ

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

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

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

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

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

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

### ABSTRACT

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

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

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

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

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

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

## 1. INTRODUCTION

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

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

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

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

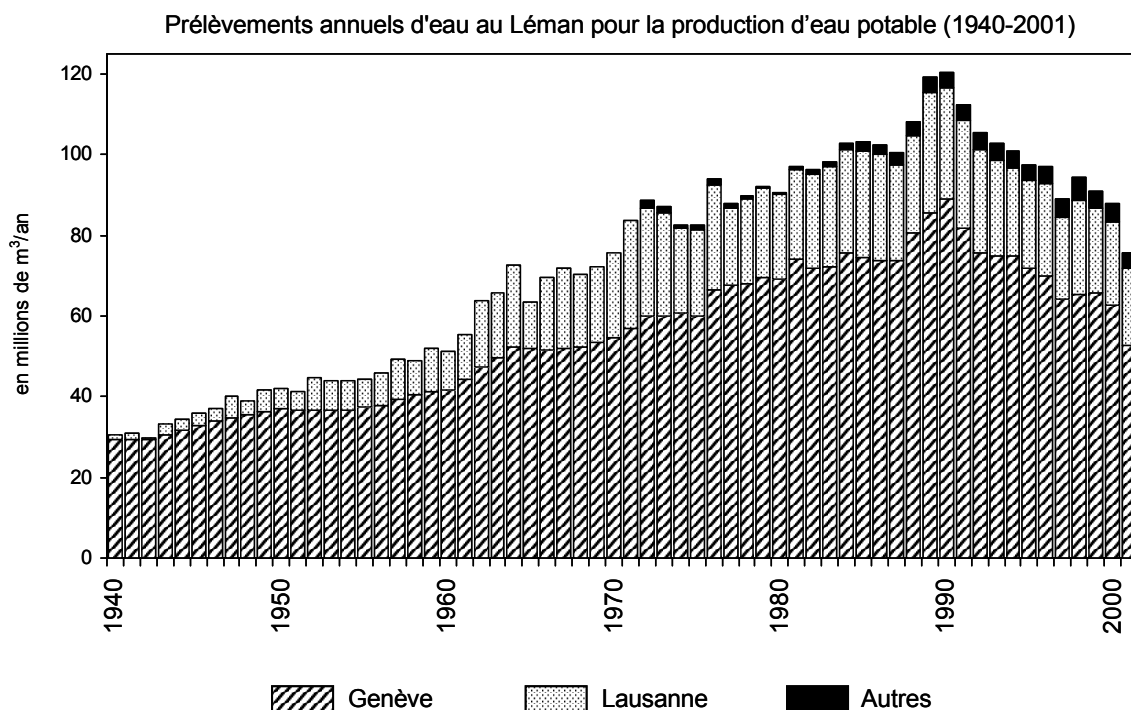


Figure 1 : Prélèvements annuels au Léman pour les années 1940 - 2001

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

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

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

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

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

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

## 2. ÉCHANTILLONNAGE

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

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

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

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

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

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

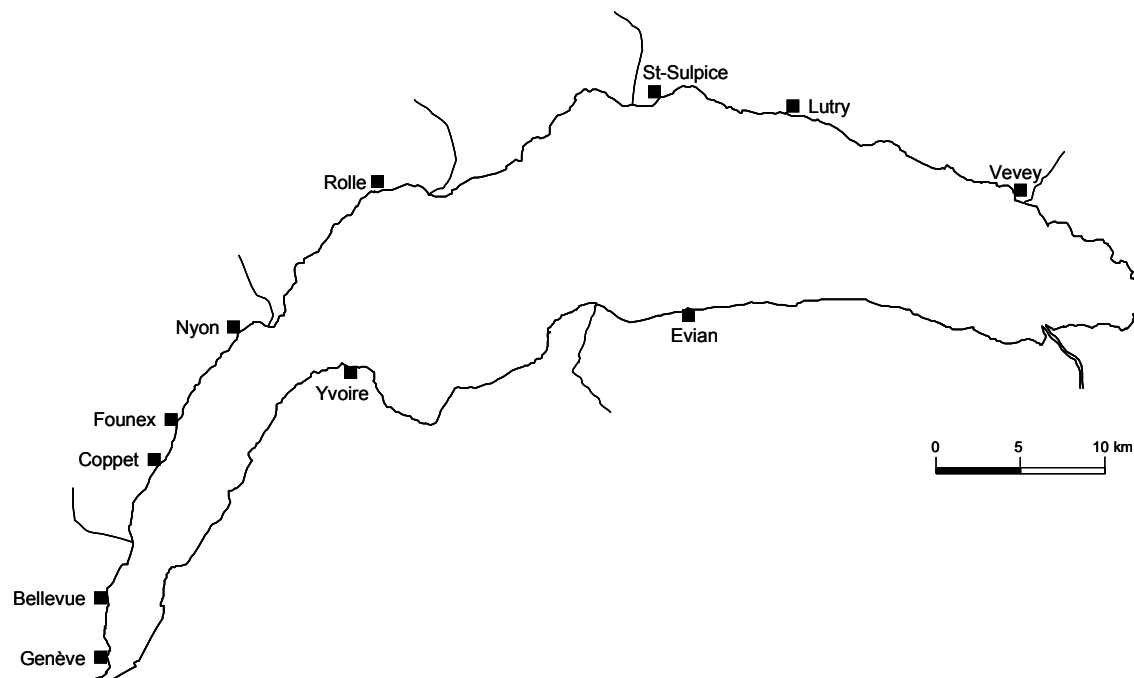


Figure 2 : Localisation des onze stations productrices d'eau potable

Figure 2 : Location of the eleven drinking water production facilities

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

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

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

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

### 3. FILIÈRES DE TRAITEMENT DES DIFFÉRENTES INSTALLATIONS

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

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

*abréviations utilisées :*

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

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

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

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

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

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

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

## 4. RÉSULTATS

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

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

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

### 4.1 Matières en suspension

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

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

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

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

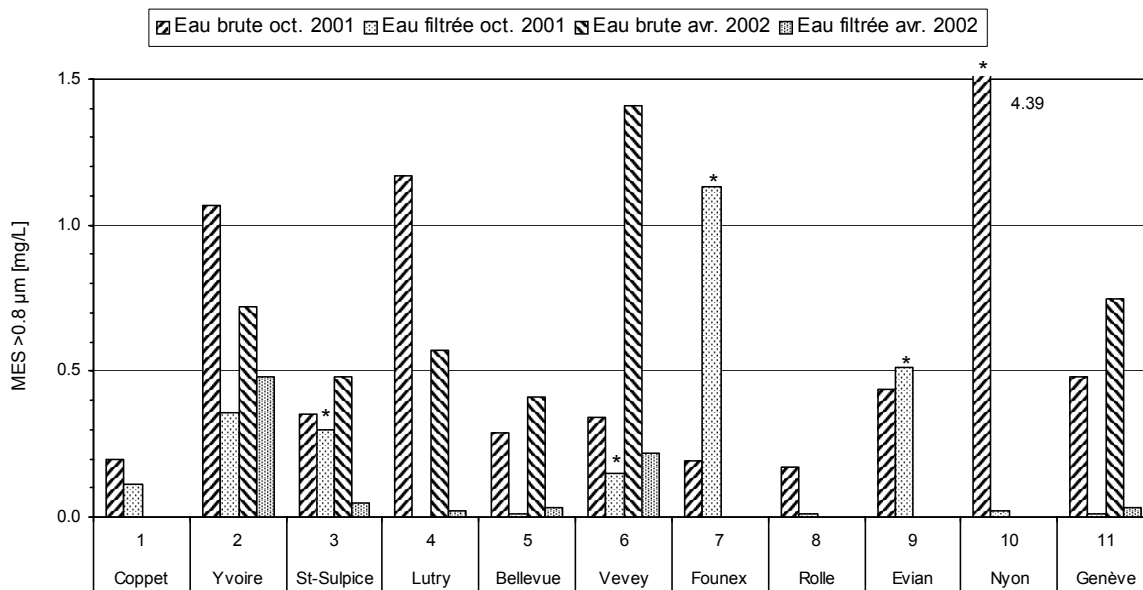


Figure 3 : Matières en suspension (MES) des eaux brutes et traitées  
\* mesures faussées par présence d'oxydes de fer particulaire

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

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

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

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

## 4.2 Turbidité

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

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

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

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

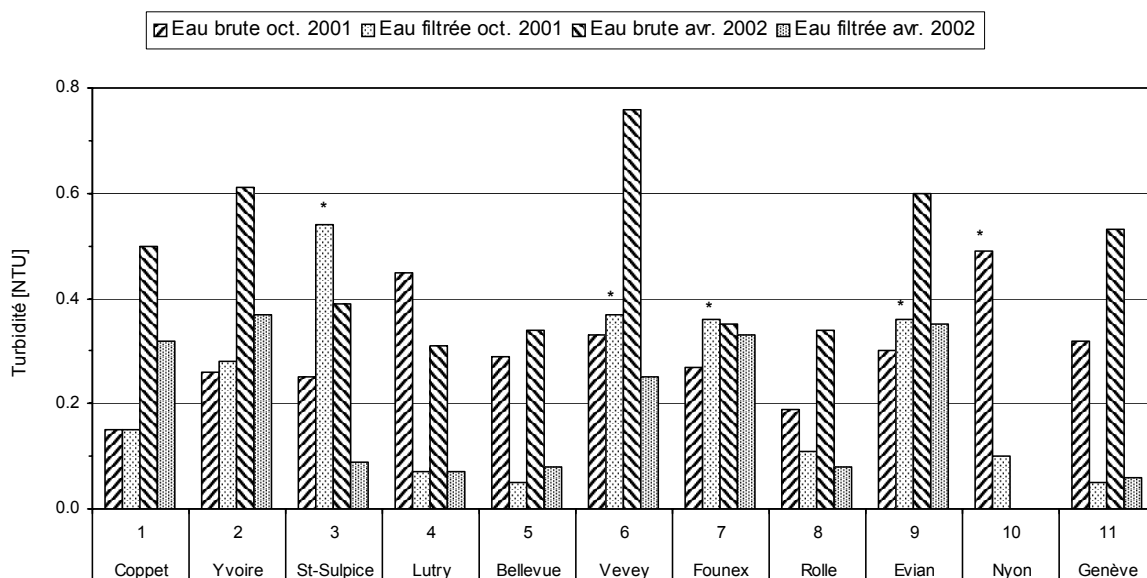


Figure 4 : Turbidité des eaux brutes et traitées  
\* mesures faussées par présence d'oxydes de fer particulaire

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

## 4.3 Carbone organique total

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

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

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

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

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



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

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

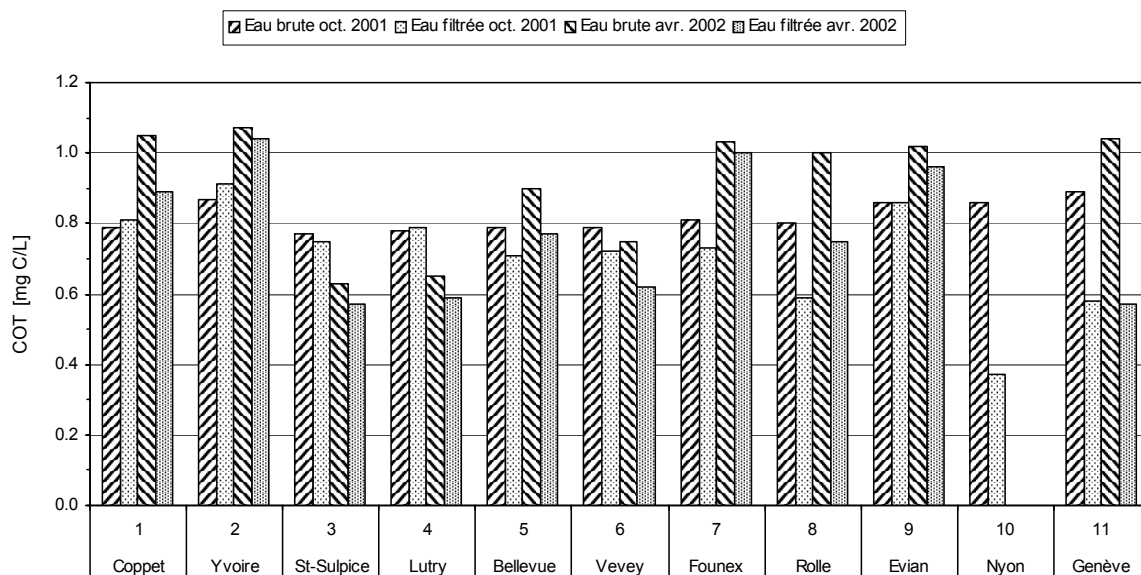


Figure 5 : Carbone organique total (COT) des eaux brutes et traitées

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

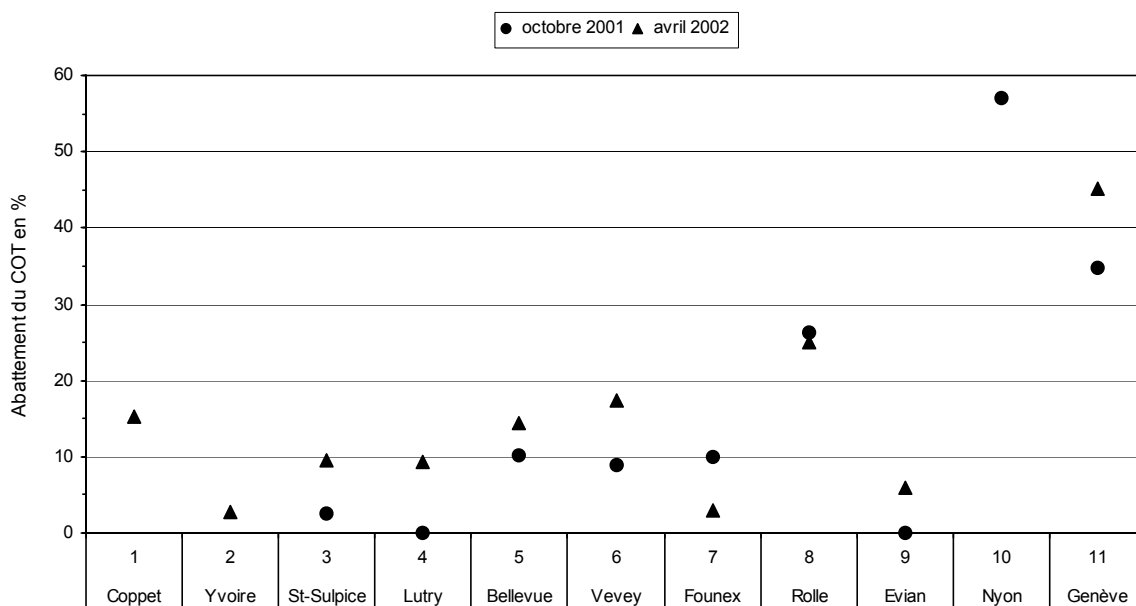


Figure 6 : Abattement du COT des différentes installations

Figure 6 : Reduction of the TOC at the various facilities

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

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

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

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

#### 4.4 Absorbance dans l'ultraviolet

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

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

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

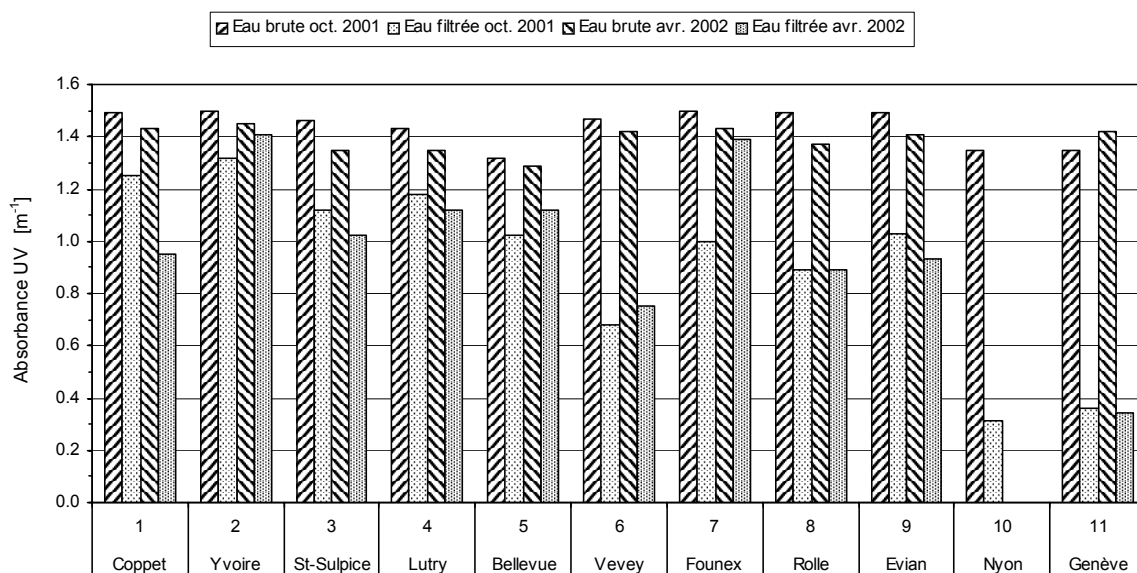


Figure 7 : Absorbance ultraviolette à 254 nm des eaux brutes et traitées

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

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

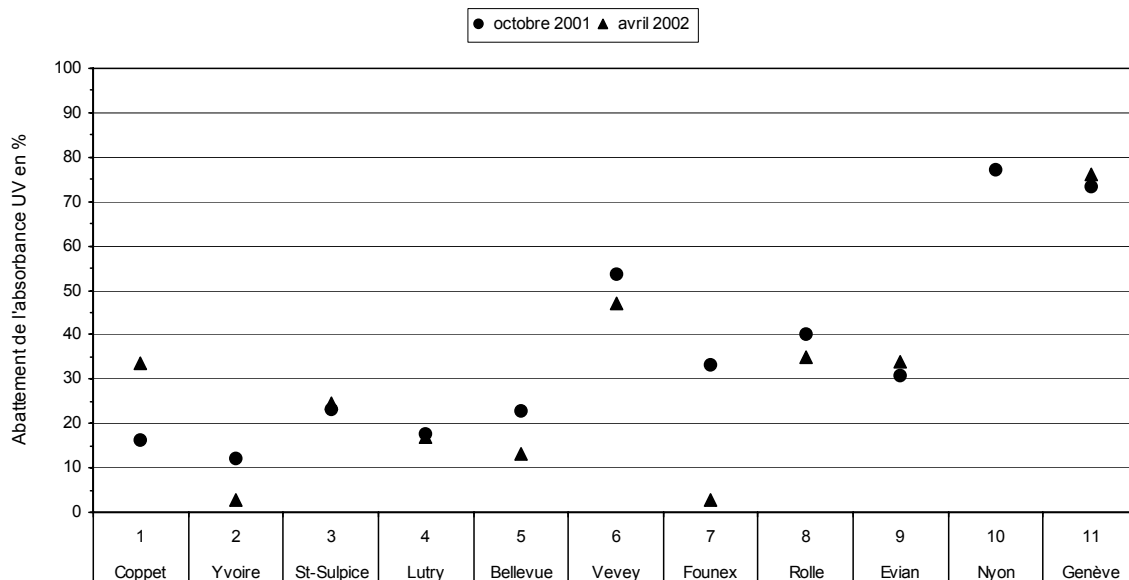


Figure 8 : Abattement de l'absorbance UV des différentes installations.

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

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

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

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

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

#### 4.5 Aluminium résiduel

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

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

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

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

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

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

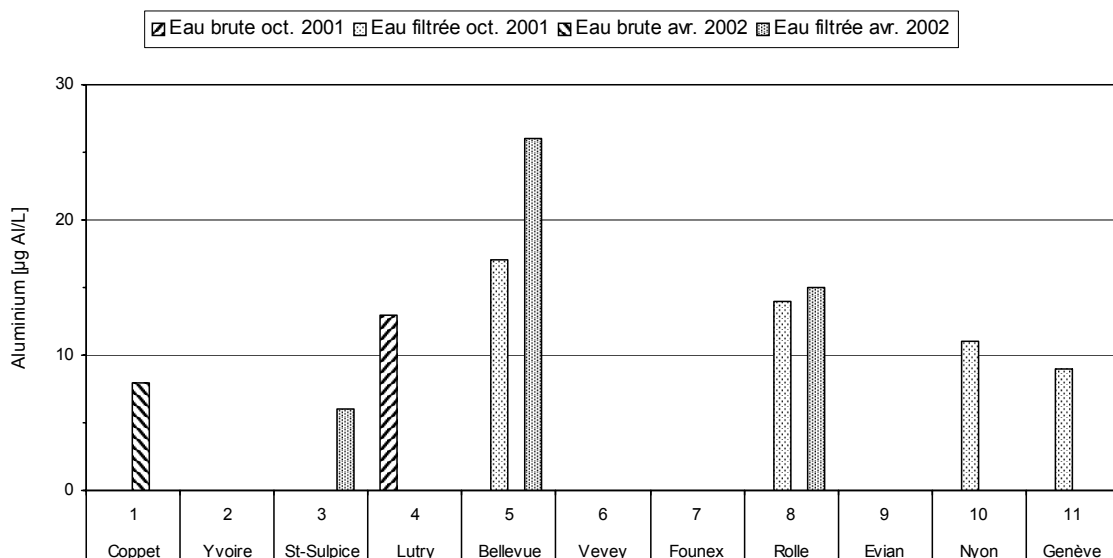


Figure 9 : Aluminium résiduel dans les eaux brutes et traitées

Figure 9 : Residual aluminum in raw and treated water

#### 4.6 Fer résiduel

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

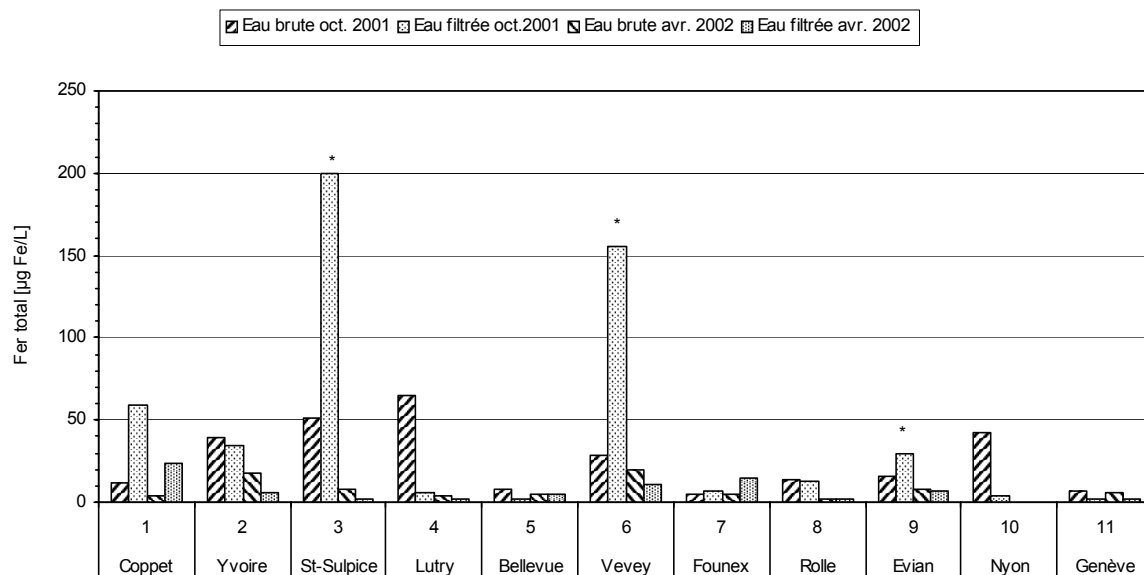


Figure 10 : Fer total dans les eaux brutes et traitées

\* mesures faussées par présence d'oxydes de fer particulaire

Figure 10 : Total iron in raw and treated water

\* values invalidated by the presence of particulate iron oxides

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

#### 4.7 Autres métaux lourds

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

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

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

#### 4.8 Microbiologie

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

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

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

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

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

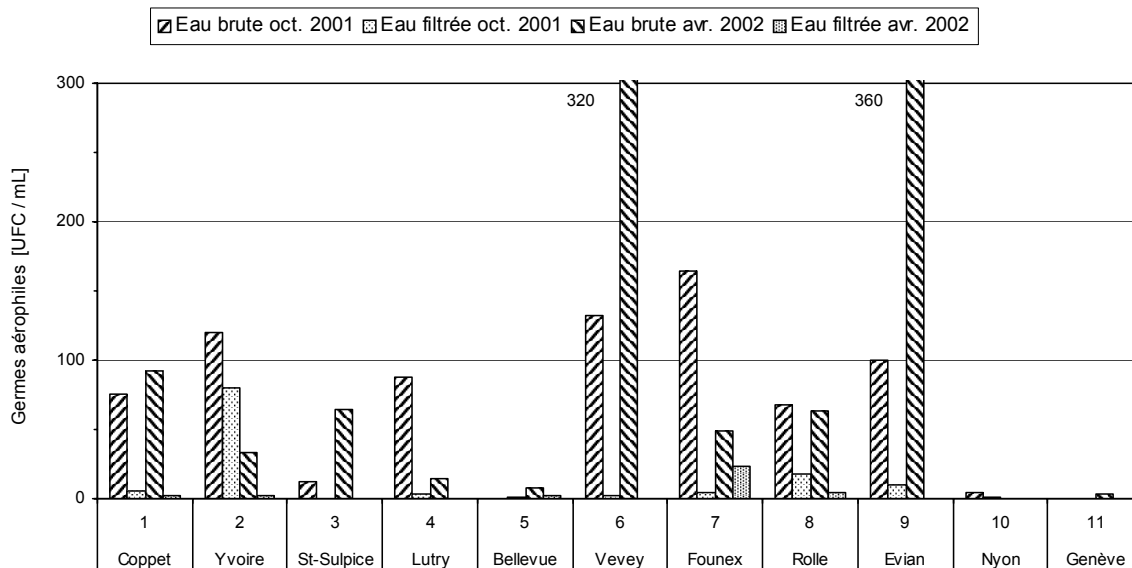


Figure 11 : Germes aérophiles 3 jours à 30°C dans les eaux brutes et traitées

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

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

#### 4.9 Trihalométhanes

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

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

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

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

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

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

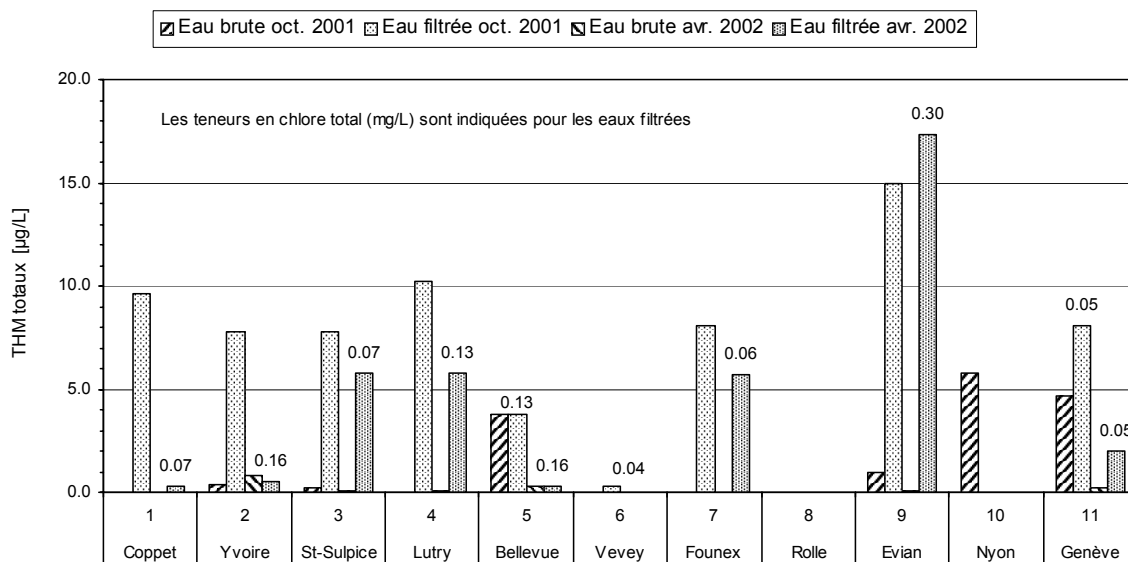


Figure 12 : Somme des THM dans les eaux brutes & traitées. Les chiffres en dessus des barres indiquent le chlore résiduel total (mg/L) pour certaines eaux traitées

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

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

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

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

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

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

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

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

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

#### 4.11 Pesticides

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

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

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

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

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

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

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

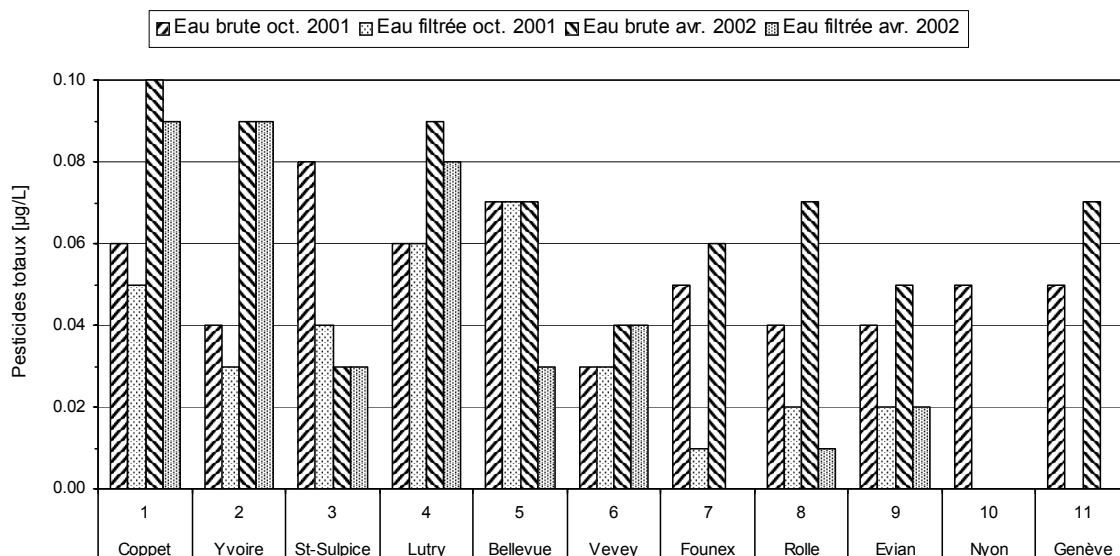


Figure 13 : Pesticides totaux dans les eaux brutes et traitées

Figure 13 : Total pesticides in raw and treated water

#### 4.12 Agents complexants EDTA - NTA

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

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

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

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

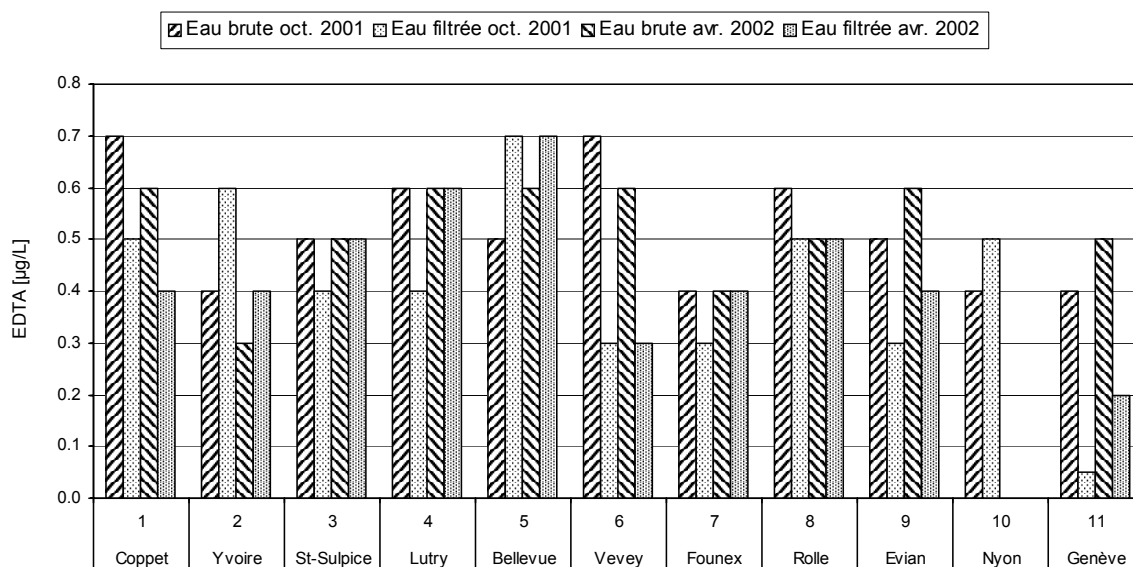


Figure 14 : Teneurs en EDTA des eaux brutes et traitées

Figure 14 : EDTA content of the raw and treated water



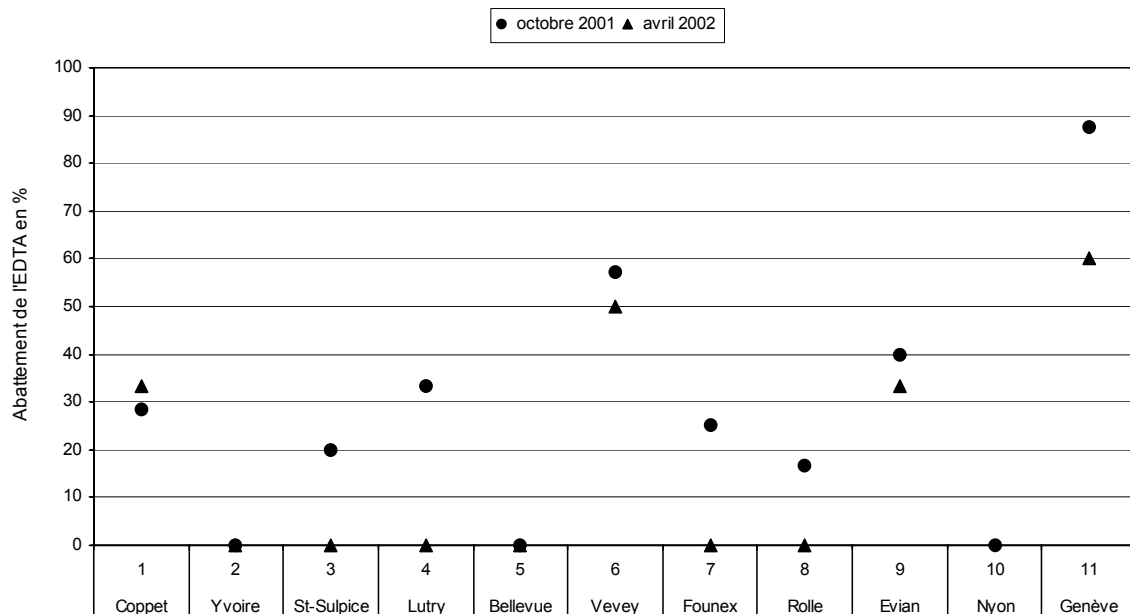


Figure 15 : Abattement de l'EDTA au sein des différentes installations

Figure 15 : Reduction of EDTA at the various facilities

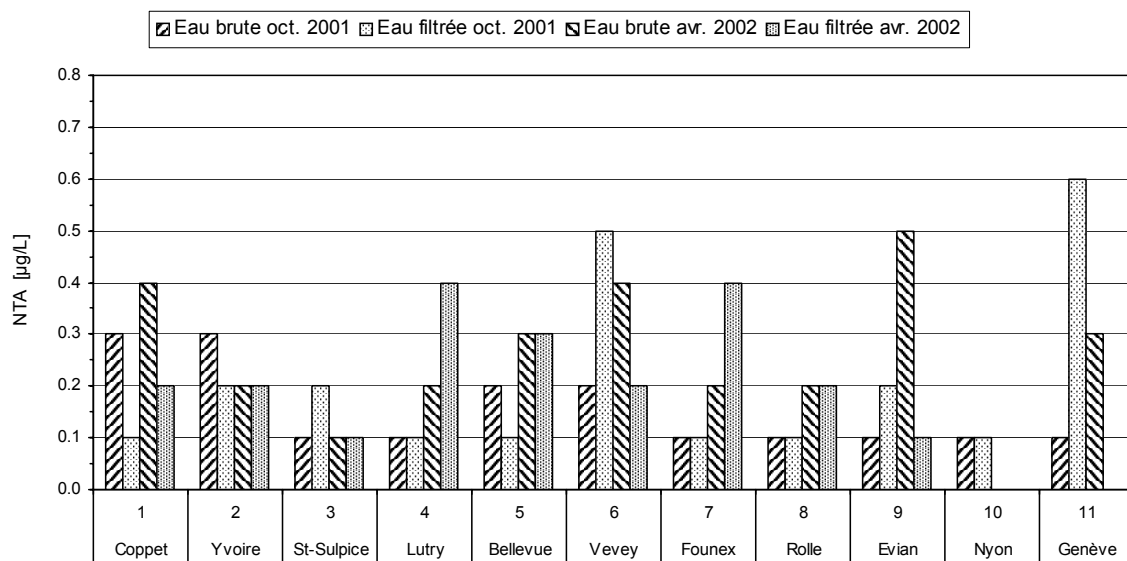


Figure 16 : Teneurs en NTA des eaux brutes et traitées

Figure 16 : NTA content of the raw and treated water

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

## 5. CONCLUSIONS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## BIBLIOGRAPHIE

- CORVI, C. et KHIM-HEANG, S. (1996) : Recherche de quelques métaux et micropolluants organiques. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1995, 81-89.
- LAZZAROTTO, J., RAPIN F. et CORVI, C. (2002) : Evolution physico-chimique et recherche de métaux et de quelques micropolluants dans les eaux du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2001, 33-59.
- LAZZAROTTO, J., RAPIN, F. et CORVI, C. (2003) : Evolution physico-chimique et recherche de métaux et de quelques micropolluants dans les eaux du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2002, 31-58.
- SOLO-GABRIELE, H. et NEUMEISTER, S. (1996) : US outbreaks of cryptosporidiosis. Jour. AWWA, 88(9), 76-86.

---

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

# Rapports techniques

**Campagne 2002**



# CONTRÔLE DES STATIONS D'ÉPURATION (STEP)

## MONITORING OF WASTE WATER TREATMENT PLANTS (WWTP)

Campagne 2002

PAR

**Aline CLERC**

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

### RÉSUMÉ

En 2002, 219 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 4'125'000 équivalents-habitants. Entre 1999 et 2002 dix nouvelles STEP ont été mises en service et près de 20 STEP, dont la STEP d'Aire (Genève), ont été modernisées et agrandies. Dans le même temps, et malgré une augmentation de la population de 50'000 habitants, le taux de raccordement est passé de 91 % à 93 %.

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.

Les débits spécifiques en entrée de STEP sont toujours relativement élevés et conduisent à des déversements d'eaux usées en entrée de station, en cours de traitement et probablement aussi dans les réseaux.

Pour le bassin du Léman, les rendements d'épuration ( $DBO_5$  et phosphore total) sur le traitement des eaux, sans tenir compte des charges déversées en entrée de STEP ou en cours de traitement, se sont stabilisés en marquant une légère baisse. Par contre, les rendements globaux ont légèrement augmenté grâce à la diminution des déversements.

Concernant l'élimination du phosphore par les STEP du bassin du Léman, le bilan est contrasté. Le point positif est la baisse des charges déversées sans traitement complet. Par contre la somme des charges rejetées par les STEP a augmenté, contribuant à une hausse générale des apports en phosphore. Cette évolution s'explique par l'augmentation des charges en entrée de STEP et la diminution du rendement d'épuration des eaux traitées, qui a un effet significatif sur l'évolution des charges rejetées.

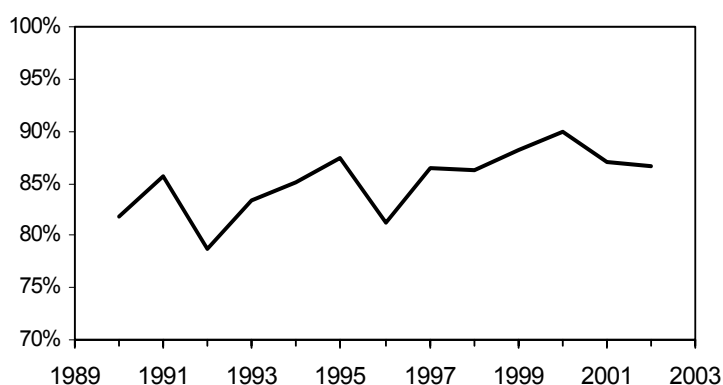


Figure 1 : Evolution entre 1990 et 2002 du rendement d'élimination du phosphore total sur les eaux traitées, (source : Données CIPEL)

Figure 1 : Change in the total phosphorus elimination yield in water processed between 1990 and 2002, (source: CIPEL data)

Quelques propositions d'actions pour réduire les apports en phosphore ont été évaluées et leurs effets chiffrés en tonnes par an. Ces chiffres, considérés comme des ordres de grandeurs très généraux, indiquent que l'amélioration de l'efficacité de l'élimination du phosphore sur les eaux traitées par les STEP est une mesure efficace, à combiner avec la réduction des apports à la source, le raccordement des populations, les actions sur les réseaux ou la diminution des déversements au niveau des STEP.

## ABSTRACT

*In 2002, there were 219 WWTP operating in the CIPEL basin (the hydrographic basin of lake Geneva and the basin of the Rhône downstream from the outflow from the lake to the Franco-Swiss border at Chancy) with a total nominal capacity of 4,125,000 in habitant-equivalents. Between 1999 and 2002, ten new WWTP came into operation, and nearly 20 WWTP, including the Aire STEP (Geneva), were updated and expanded. Over the same period, and despite an increase of 50,000 in the population, the connection rate rose from 91 % to 93 %.*

*In the CIPEL basin as a whole, the WWTP that have been monitored correspond to more than 93 % of the treatment capacity of the basin. However, the discharge flows and the dissolved phosphorus levels have not been investigated sufficiently, and this makes the various assessments somewhat inaccurate.*

*The specific rates of flow into a STEP are always relatively high, which leads to spillage of the untreated waste water as it enters the stations, during treatment and probably also within the sewerage system.*

*In the case of the lake Geneva basin, the processing yields (DBO<sub>5</sub> and total phosphorus) for treated water, without taking into account the discharges on entering the WWTP or during treatment, stabilized with registering a slight reduction. In contrast, the global yields increased slightly as a result of a reduction in the input.*

*There were conflicting observations for the elimination of phosphorus by the WWTP in the lake Geneva basin. The positive aspect observed was a reduction in the discharge of water that had not been completely processed. In contrast, the sum of the loads discharged from the WWTP increased, contributing to a general increase in the input of phosphorus from the WWTP. This change can be accounted for by the increase in the input loads when they enter the STEP, and the decrease in the processing yield of the treated water, which had a significant impact on the loads discharged.*

*Some of the measures proposed to reduce the input of phosphorus have been assessed, and their impacts quantified in terms of tonnes per year. These figures, which should be viewed as very general indications of the order of magnitude, indicate that improving the efficacy of the elimination of phosphorus from the water processed by the WWTP is an effective measure, which needs to be combined with reducing the input at source, connecting the population to the sewerage network, improving the sewerage system and reducing the losses from the WWTP.*

## 1. INTRODUCTION

Le bilan global du fonctionnement des stations d'épuration du bassin étudié et suivi par la CIPEL<sup>1</sup> a été établi. Il se base d'une part sur l'inventaire des installations, mis à jour au 1er janvier 2003, 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 1er janvier 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).

1

bassins hydrographiques du Léman et du Rhône aval depuis l'émissaire du lac jusqu'à la frontière franco-suisse de Chancy.

Le tableau 1 donne pour chaque entité le nombre de STEP, ainsi que leur capacité et les populations qui y sont raccordées. En 2002, 219 STEP étaient en service dans le bassin versant CIPEL; elles totalisaient une capacité nominale de 4'125'000 équivalents-habitants (EH) (à 60 g de DBO<sub>5</sub> /EH.j). Entre 1999 et 2002 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 2002

Table 1 : State of the WWTP and the numbers of people connected at the end of 2002

| Bassin                    | Entité               | Nombre de STEP | Capacité des STEP |                         | Habitants permanents raccordés |                         | Habitants saisonniers raccordés |                         |
|---------------------------|----------------------|----------------|-------------------|-------------------------|--------------------------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------------|
|                           |                      |                | Totale            | % déphos. <sup>1)</sup> | Total                          | % déphos. <sup>1)</sup> | Total                           | % déphos. <sup>1)</sup> |
| Léman                     | 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%                  |
|                           | Hte-Savoie           | 18             | 199'596           | 94.6%                   | 77'797                         | 93.7%                   | 127'898                         | 97.4%                   |
|                           | Valais               | 69             | 1'397'507         | 99.6%                   | 262'929                        | 99.5%                   | 323'006                         | 98.0%                   |
|                           | Vaud                 | 74             | 1'000'777         | 100.0%                  | 497'091                        | 100.0%                  | 94'025                          | 100.0%                  |
| <b>Total Léman</b>        |                      | <b>166</b>     | <b>2'625'255</b>  | <b>99.3%</b>            | <b>852'992</b>                 | <b>99.2%</b>            | <b>550'612</b>                  | <b>98.2%</b>            |
| Rhône aval                | Ain                  | 9              | 52'623            | 0.0%                    | 34'208                         | 0.0%                    | 50                              | 0.0%                    |
|                           | Genève <sup>2)</sup> | 13             | 1'043'407         | 0.0%                    | 436'406                        | 0.0%                    | 22'563                          | 0.0%                    |
|                           | Hte-Savoie           | 31             | 403'810           | 36.7%                   | 175'027                        | 38.3%                   | 188'890                         | 39.4%                   |
| <b>Total Rhône aval</b>   |                      | <b>53</b>      | <b>1'499'840</b>  | <b>9.9%</b>             | <b>645'641</b>                 | <b>10.4%</b>            | <b>211'503</b>                  | <b>35.2%</b>            |
| <b>Total bassin CIPEL</b> |                      | <b>219</b>     | <b>4'125'095</b>  | <b>61.0%</b>            | <b>1'499'915</b>               | <b>61.0%</b>            | <b>762'170</b>                  | <b>80.7%</b>            |

<sup>1)</sup> Indique le pourcentage de la capacité, respectivement des habitants permanents et saisonniers, relevant de STEP pratiquant la déphosphatation

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

La population permanente résidant dans le bassin CIPEL a augmenté de près de 50'000 habitants entre 1999 et 2003. Dans le même temps, le taux de raccordement de la population permanente est passé de 94 % à 95 % pour le bassin du Léman et de 87 % à 89 % dans le bassin du Rhône aval. Concernant la population saisonnière, le taux général de raccordement a également progressé de 85 % à 89 % pour le bassin du Léman et de 66 % à 69 % dans le bassin du Rhône aval. Les populations permanentes et saisonnières encore à raccorder représentent 24'000 et 38'000 habitants pour le bassin du Léman et respectivement 43'000 et 39'000 habitants pour le bassin du Rhône aval.

Tableau 2 : Nombre et taille des STEP

Table 2 : Number and size of the WWTP

| Bassin versant | Totalité des STEP |                  | STEP de capacité inférieure à 10'000 EH |                |           | STEP de capacité comprise entre 10'000 EH et 20'000 EH |                |           | STEP de capacité supérieure à 20'000 EH |                  |            |
|----------------|-------------------|------------------|-----------------------------------------|----------------|-----------|--------------------------------------------------------|----------------|-----------|-----------------------------------------|------------------|------------|
|                | STEP              | Capacité         | STEP                                    | Capacité       |           | STEP                                                   | Capacité       |           | STEP                                    | Capacité         |            |
| Léman          | 166               | 2'625'255        | 121                                     | 274'794        | 10%       | 18                                                     | 251'126        | 10%       | 27                                      | 2'099'335        | 80%        |
| Rhône aval     | 53                | 1'499'840        | 35                                      | 93'287         | 6%        | 5                                                      | 71'233         | 5%        | 13                                      | 1'335'320        | 89%        |
| <b>Total</b>   | <b>219</b>        | <b>4'125'095</b> | <b>156</b>                              | <b>368'081</b> | <b>9%</b> | <b>23</b>                                              | <b>322'359</b> | <b>8%</b> | <b>40</b>                               | <b>3'434'655</b> | <b>83%</b> |

Pour le bassin du Léman, les 27 STEP de capacité égale ou supérieure à 20'000 équivalents-habitants (EH) (à 60 g de DBO<sub>5</sub> /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 45 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 l'importance des contrôles (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 93% de la capacité totale du bassin versant CIPEL.

Toutefois, le tableau 2 indique clairement les entités où 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 STEP (généralement sans déphosphatation), de même dans le bassin du Rhône aval pour le département de la Haute-Savoie. En Valais, la majorité des STEP non contrôlées (8 STEP sur 16 représentant plus de 75 % de la capacité des STEP non contrôlées) étaient en construction ou en rénovation en 2002.

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'élimination du phosphore dont la concentration dans le Léman est encore trop élevée (34 µg P/L pour un objectif d'environ 20 µg P/L). Des estimations des débits et 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 2002 avec analyses des eaux et mesure de débits (prélèvements de 24 h)

Table 3 : Number of tests carried out in 2002, including analyses of the water and measurement of the flow rates (24-h samples)

| BV*        | Contrôles <sup>2)</sup> |            | Ain      | Hte-Savoie | Genève    | Valais    | Vaud <sup>1)</sup> | Total     |           |
|------------|-------------------------|------------|----------|------------|-----------|-----------|--------------------|-----------|-----------|
| Léman      | STEP non contrôlées     | Cap. 60g   | -        | 10'876     | -         | 23'734    | -                  | 34'610    |           |
|            |                         | STEP (nbr) | -        | 9          | -         | 16        | -                  | 25        |           |
|            | de 1 à 3 contrôles      | Cap. 60g   | 450      | 5'770      | -         | 25'620    | 188                | 32'028    |           |
|            |                         | STEP       | 1        | 3          | -         | 15        | 1                  | 20        |           |
|            | de 4 à 11 contrôles     | Cap. 60g   | -        | 20'600     | 125       | 9'583     | -                  | 30'308    |           |
|            |                         | STEP       | -        | 3          | 1         | 2         | -                  | 6         |           |
|            | 12 contrôles et plus    | Cap. 60g   | 19'300   | 162'350    | 7'500     | 1'338'570 | 1'000'589          | 2'528'309 |           |
|            |                         | STEP       | 2        | 3          | 1         | 36        | 73                 | 115       |           |
|            | Total Léman             |            | Cap. 60g | 19'750     | 199'596   | 7'625     | 1'397'507          | 1'000'777 | 2'625'255 |
|            |                         |            | STEP     | 3          | 18        | 2         | 69                 | 74        | 166       |
| Rhône aval | STEP non contrôlées     | Cap. 60g   | -        | 133'810    | 375       | -         | -                  | 134'185   |           |
|            |                         | STEP       | -        | 23         | 1         | -         | -                  | 24        |           |
|            | de 1 à 3 contrôles      | Cap. 60g   | 6'563    | -          | 719       | -         | -                  | 7'282     |           |
|            |                         | STEP       | 6        | -          | 2         | -         | -                  | 8         |           |
|            | de 4 à 11 contrôles     | Cap. 60g   | -        | 23'500     | 9'810     | -         | -                  | 33'310    |           |
|            |                         | STEP       | -        | 1          | 5         | -         | -                  | 6         |           |
|            | 12 contrôles et plus    | Cap. 60g   | 46'060   | 246'500    | 1'032'503 | -         | -                  | 1'325'063 |           |
|            |                         | STEP       | 3        | 7          | 5         | -         | -                  | 15        |           |
|            | Total Rhône aval        |            | Cap 60g. | 52'623     | 403'810   | 1'043'407 | -                  | -         | 1'499'840 |
|            |                         |            | STEP     | 9          | 31        | 13        | -                  | -         | 53        |

\* BV = bassin versant

<sup>1)</sup> Les STEP vaudoises sont contrôlées 15 fois par année (mesure de débit 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.

<sup>2)</sup> STEP non contrôlées : STEP sans contrôle

De 1 à 3 contrôles : STEP avec contrôles instantanés ou moins de 4 contrôles complets (analyses des eaux et mesure de débits)

De 4 à 11 contrôles : STEP avec 4 à 11 contrôles complets (analyses des eaux et mesure de débits)

12 contrôles et plus : STEP avec plus de 11 contrôles complets (analyses des eaux 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'avoir une vision générale,
- sur les données des stations d'une capacité de traitement supérieure à 10'000 EH, qui bénéficient de contrôles plus fréquents et plus complets. En effet, les STEP procédant à des analyses régulières et équipées de mesures de débit 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. Ces stations représentent plus de 91 % de la capacité des STEP 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).

##### 4.1 Débits

Le tableau 4 présente les débits mesurés dans les stations d'épuration pour l'année 2002. Pour le bassin du Léman, le débit global d'entrée d'environ 526'000 m<sup>3</sup>/j est équivalent à celui mesuré en 2001. Les débits déversés en entrée restent au même niveau et les débits déversés en cours de traitement ont diminué de moitié par rapport à 2001. Le volume d'eaux usées entièrement traitées dans les STEP a donc progressé en 2002. Cette évolution s'explique par une pluviométrie certes légèrement inférieure en 2002 mais surtout répartie différemment dans l'année (en 2001 forte pluviométrie au printemps et en 2002 en octobre-novembre).

Les débits spécifiques transitant par les réseaux et parvenant aux STEP montrent clairement que les réseaux transportent une quantité non négligeable, voire considérable, d'eaux claires parasites. En effet, pour une consommation de 160 à 200 litres par personne et par jour, certains réseaux transportent plus de 800 litres. Les eaux claires parasites, provoquant des déversements plus volumineux ou plus fréquents, ont une influence sur le fonctionnement des réseaux et des STEP.

Tableau 4 : Débits journaliers mesurés dans les STEP du bassin CIPEL en 2002

Table 4 : Daily flows through the WWTP of the CIPEL basin in 2002

| BV*                     | Canton / Département | Nombre de STEP contrôlées | Capacité (60g DBO <sub>5</sub> /hab.j) contrôlée | Population raccordée | Débits journaliers mesurés (m <sup>3</sup> /j) |                |                 |                | Débit spécifique en L/hab.jour <sup>1)</sup> |
|-------------------------|----------------------|---------------------------|--------------------------------------------------|----------------------|------------------------------------------------|----------------|-----------------|----------------|----------------------------------------------|
|                         |                      |                           |                                                  |                      | Déversés en entrée                             | Entrée de STEP | Déversés au DP* | Sortie         |                                              |
| Léman                   | Ain                  | 2                         | 19'300                                           | 13'011               | 739                                            | 7'452          | 0               | 7'452          | 737                                          |
|                         | Hte-Savoie           | 7                         | 188'150                                          | 155'355              | 3'686                                          | 36'729         | 0               | 36'746         | 282                                          |
|                         | Valais               | 52                        | 1'366'273                                        | 453'606              | 13                                             | 205'827        | 1'355           | 204'472        | 587                                          |
|                         | Vaud                 | 74                        | 1'000'777                                        | 559'774              | 15'364                                         | 253'594        | 16'181          | 237'416        | 430                                          |
|                         | Genève               | 2                         | 7'625                                            | 5'589                | 0                                              | 2'333          | 0               | 2'333          | 406                                          |
| <b>Total Léman</b>      |                      | <b>137</b>                | <b>2'582'125</b>                                 | <b>1'187'335</b>     | <b>19'801</b>                                  | <b>505'934</b> | <b>17'536</b>   | <b>488'418</b> | <b>471</b>                                   |
| Rhône aval              | Ain                  | 3                         | 46'060                                           | 30'335               | 2'020                                          | 17'152         | 0               | 17'152         | 632                                          |
|                         | Hte-Savoie           | 8                         | 270'000                                          | 186'837              | 3'856                                          | 48'925         | 433             | 46'962         | 319                                          |
|                         | Genève               | 9                         | 912'313                                          | 447'719              | 4'685                                          | 201'758        | 99'106          | 104'174        | 433                                          |
| <b>Total Rhône aval</b> |                      | <b>20</b>                 | <b>1'228'373</b>                                 | <b>664'891</b>       | <b>10'562</b>                                  | <b>267'834</b> | <b>99'539</b>   | <b>168'287</b> | <b>415</b>                                   |
| <b>Total BV CIPEL</b>   |                      | <b>157</b>                | <b>3'810'498</b>                                 | <b>1'852'226</b>     | <b>30'363</b>                                  | <b>773'769</b> | <b>117'075</b>  | <b>656'706</b> | <b>450</b>                                   |

\* BV = bassin versant ; DP = décanteur primaire

<sup>1)</sup> Les débits spécifiques sont calculés sur la base des mesures effectuées par temps sec.

La mesure des débits déversés n'est pas effectuée de manière systématique sur les installations, ce qui conduit à une sous-estimation générale de ces débits. Le taux de mesure de ces débits varie, pour les différentes parties du bassin CIPEL, de 94.8 % de la capacité des STEP dans le canton de Genève à 26.7 % dans le canton du Valais, avec une moyenne pour le bassin CIPEL de 65.6 % en progression par rapport à 2001 (58.3 %).

Le tableau 5 présente une estimation des débits déversés sans être mesurés dans le bassin CIPEL. Cette estimation induirait une augmentation de près de 7 % des déversements d'eaux usées dans le milieu naturel. La connaissance des débits déversés par les 27 STEP de capacité supérieure à 10'000 EH, non encore équipées pour ce type de mesure, permettrait de quantifier de manière beaucoup plus précise ce phénomène.

La figure 2 donne, pour les STEP d'une capacité de plus de 10'000 EH, une vue d'ensemble des volumes d'eaux usées arrivant aux STEP. Elle illustre également l'importance pour certaines STEP des volumes déversés.

Tableau 5 : Estimation des débits déversés dans le bassin CIPEL en 2002

Table 5 : Estimation of the flows discharged into the CIPEL basin in 2002

| Capacité des STEP               | STEP avec mesure des débits déversés |                                   |                     |                                | STEP sans mesure des débits déversés |                                   |                                | Débits déversés (mesurés et estimés) (m³/j) |
|---------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|---------------------|--------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------|
|                                 | Nombre                               | Pourcentage de la capacité totale | Taux de déversement | Débits déversés mesurés (m³/j) | Nombre                               | Pourcentage de la capacité totale | Débits déversés estimés (m³/j) |                                             |
| supérieure ou égale à 10'000 EH | 32                                   | 68.5%                             | 5.5%                | 146'331                        | 27                                   | 31.5%                             | 10'278                         | 156'609                                     |
| inférieure à 10'000 EH          | 26                                   | 23.0%                             | 1.5%                | 1'108                          | 72                                   | 77.0%                             | 761                            | 1'868                                       |
| <b>Total</b>                    | <b>58</b>                            | <b>65.6%</b>                      | <b>5.4%</b>         | <b>147'438</b>                 | <b>99</b>                            | <b>34.4%</b>                      | <b>11'039</b>                  | <b>158'477</b>                              |

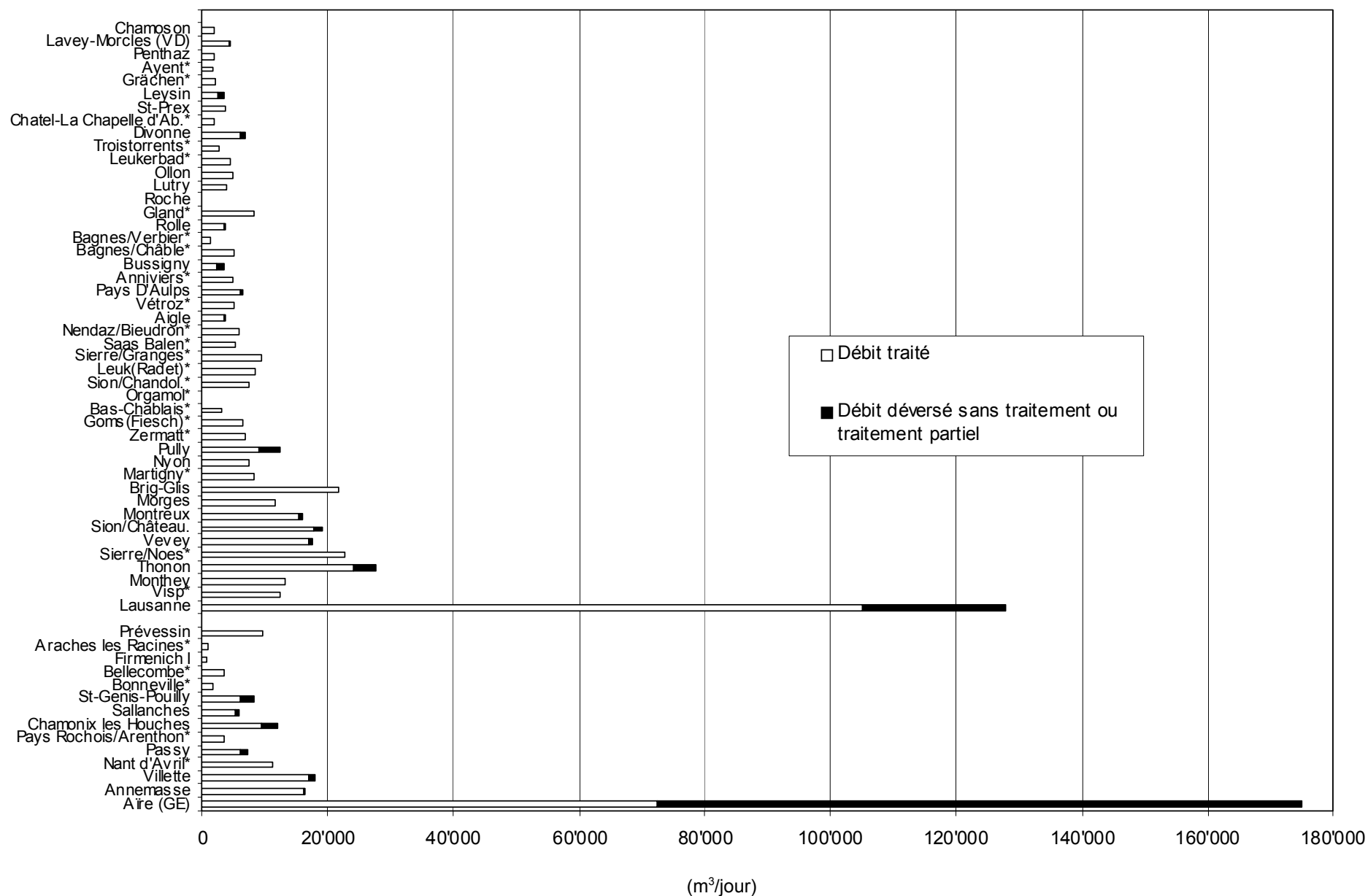


Figure 2 : Débits journaliers traités et déversés sans traitement biologique en 2002 (déversés à l'entrée et/ou après le décanteur primaire - DP)  
STEP suivies d'une \* : - sans information au sujet des éventuels débits déversés

Figure 2 : Daily flows discharged after processing or without any biological treatment (discharge at the entry point and/or after the primary decanter - PD)

## 4.2. Demande biochimique en oxygène (DBO<sub>5</sub>)

Le tableau 6 présente le bilan de l'épuration pour la demande biochimique en oxygène (DBO<sub>5</sub>). Il faut relever que les performances de l'épuration, 90 %, sur les eaux traitées, sont en légère baisse par rapport à 2001 pour le bassin du Léman. Pour le Rhône aval, la nette hausse du rendement est dû à la mise en fonction de la nouvelle STEP d'Aïre.

Tableau 6 : Bilan des charges, concentrations et rendements pour la DBO<sub>5</sub> pour les STEP des différentes entités en 2002 (pour les STEP contrôlées représentant 90 % de la capacité totale)

Table 6 : Assessment of the loads, concentrations and yields of DBO<sub>5</sub> for the WWTP of the various entities in 2002 (for the WWTP tested, corresponding to 90% of the total capacity)

| Bassin versant     | Canton / Département | Charges<br>Tonnes par an (365 jours) |                  |                         | Concentrations<br>(mg O <sub>2</sub> /L) |           |                    | Rendement en % |                  |
|--------------------|----------------------|--------------------------------------|------------------|-------------------------|------------------------------------------|-----------|--------------------|----------------|------------------|
|                    |                      | Eaux brutes                          | Déversées        |                         | Eaux brutes                              | Déversées |                    |                |                  |
|                    |                      |                                      | Après traitement | Sans traitement complet |                                          | Traitées  | Traitée + déversée | Traité         | Traité + déversé |
| Léman              | Ain                  | 271                                  | 12               | 21                      | 90                                       | 4         | 11                 | 95%            | 88%              |
|                    | Genève               | 99                                   | 7                | 0                       | 116                                      | 9         | 9                  | 93%            | 93%              |
|                    | Haute-Savoie         | 2'549                                | 500              | 136                     | 177                                      | 38        | 44                 | 79%            | 75%              |
|                    | Valais               | 21'146                               | 1'010            | 22                      | 261                                      | 12        | 13                 | 95%            | 95%              |
|                    | Vaud                 | 12'797                               | 1'924            | 921                     | 156                                      | 27        | 35                 | 84%            | 78%              |
| Rhône aval         | Ain                  | 1'029                                | 70               | 22                      | 147                                      | 11        | 13                 | 93%            | 91%              |
|                    | Genève               | 13'120                               | 922              | 3'558                   | 173                                      | 25        | 59                 | 93%            | 66%              |
|                    | Haute-Savoie         | 4'011                                | 290              | 202                     | 209                                      | 17        | 26                 | 92%            | 88%              |
| Total Léman        |                      | 36'862                               | 3'452            | 1'100                   | 203                                      | 20        | 25                 | 90%            | 88%              |
| Total Rhône aval   |                      | 18'160                               | 1'282            | 3'783                   | 178                                      | 21        | 50                 | 93%            | 72%              |
| Total Bassin CIPEL |                      | 55'021                               | 4'734            | 4'883                   | 194                                      | 21        | 34                 | 91%            | 83%              |

Les rendements d'épuration sont représentés sur la figure 3 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. La STEP d'Aïre (bassin du Rhône aval) en rénovation ces dernières années a mis en service sa chaîne de traitement complet en cours d'année ce qui explique la proportion élevée des charges déversées dans son bilan.

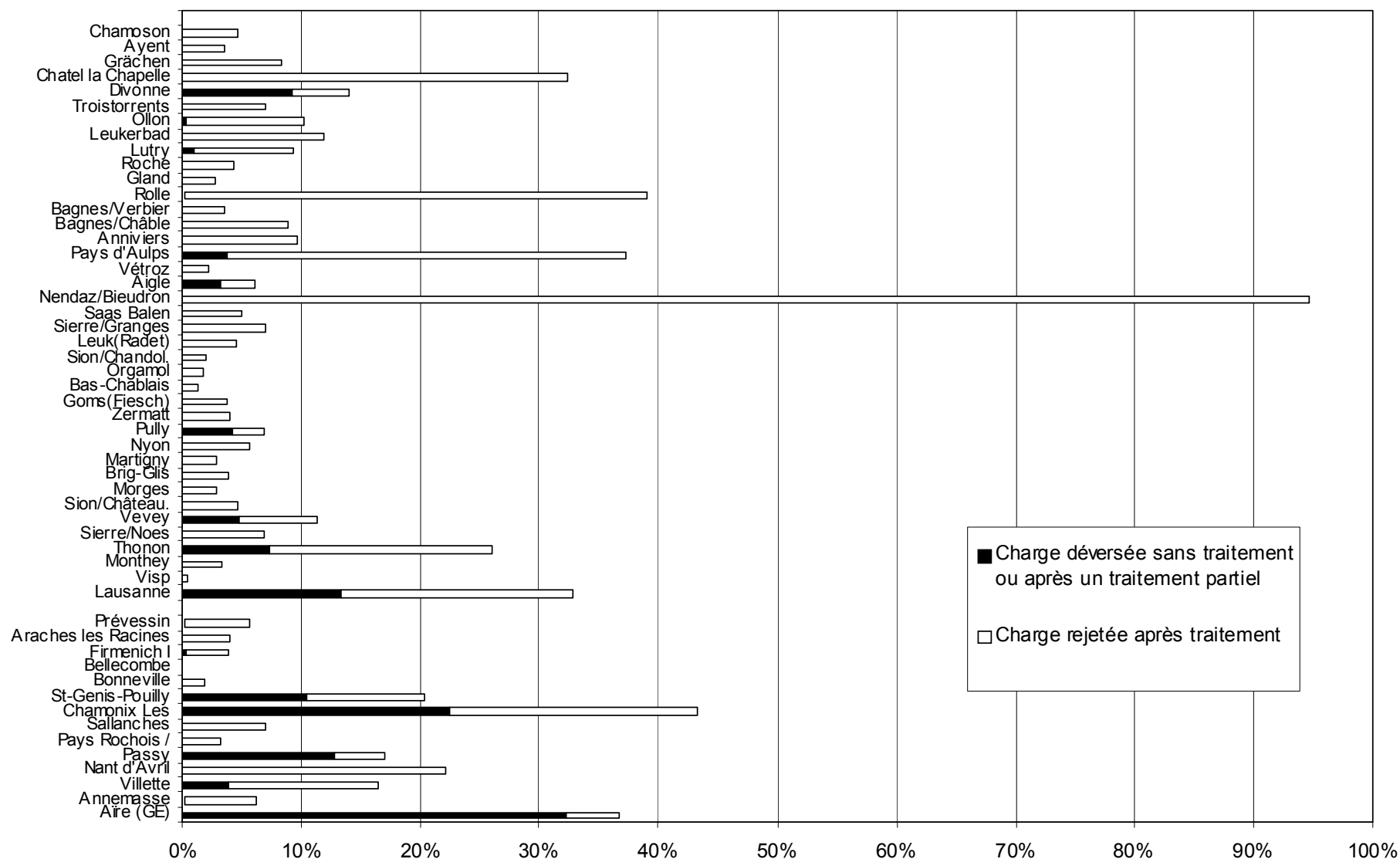


Figure 3 : Charge journalière organique ( $DBO_5$ ) traitée et déversée sans traitement exprimée en % de la charge totale dans les principales STEP (de capacité égale ou supérieure à 10'000 EH (60 g $DBO_5$ /hab.jour))

Figure 3 : Daily loads of Biochemical Oxygen Demand ( $DBO_5$ ) 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 g $DBO_5$ /inhab.day))

### 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 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 2002. La déphosphatation n'étant obligatoire que pour le bassin du Léman, il ne sera cité que les chiffres le concernant. Les STEP contrôlées représentent 98 % de la capacité des STEP du bassin du Léman. Les charges mesurées en entrée de STEP en 2002 sont en augmentation par rapport à 2001, mais s'inscrivent dans la fourchette des valeurs observées ces dernières années (de 1994 - 2002). Par rapport à 2001, les rendements sont stables, voire en légère baisse pour les eaux traitées (de 88% à 87%) et en très légère hausse pour le rendement global. En effet les débits déversés sans traitement complet ont diminué. Conséquence de l'augmentation des charges en entrée conjuguée à la baisse du rendement, les flux rejetés augmentent passant de 144 tonnes en 2001 à 155 tonnes en 2002.

Tableau 7 : Bilan des charges, concentrations et rendements pour le phosphore total pour les STEP des différentes entités en 2002

Table 7 : Assessments of loads, concentrations and yields of total phosphorus for the WWTP of the various entities in 2002

| Bassin versant     | Canton/<br>Département | Charges<br>Tonnes par an (365 jours) |                     |                               | Concentrations<br>(mg Ptot/L.) |           |                     | Rendement en % |                       |
|--------------------|------------------------|--------------------------------------|---------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------|---------------------|----------------|-----------------------|
|                    |                        | Eaux<br>brutes                       | Déversées           |                               | Eaux<br>brutes                 | Déversées |                     |                |                       |
|                    |                        |                                      | Après<br>traitement | Sans<br>traitement<br>complet |                                | Traité    | Traité +<br>déversé | Traitées       | Traitée +<br>déversée |
| Léman              | Ain                    | 10                                   | 1                   | 0.8                           | 3.45                           | 0.49      | 0.71                | 86%            | 79%                   |
|                    | Genève                 | 4                                    | 0                   | 0.0                           | 4.12                           | 0.57      | 0.57                | 86%            | -                     |
|                    | Hte-Savoie             | 88                                   | 16                  | 4.8                           | 5.87                           | 1.18      | 1.41                | 80%            | 76%                   |
|                    | Valais                 | 322                                  | 35                  | 1.1                           | 4.38                           | 0.48      | 0.49                | 89%            | 89%                   |
|                    | Vaud                   | 440                                  | 58                  | 39.6                          | 4.60                           | 0.69      | 0.99                | 86%            | 78%                   |
| Rhône<br>aval      | Ain                    | 43                                   | 23                  | 0.6                           | 6.51                           | 3.80      | 3.64 <sup>1)</sup>  | 45%            | 44%                   |
|                    | Genève                 | 340                                  | 61                  | 89.6                          | 4.48                           | 1.68      | 1.99                | 82%            | 56%                   |
|                    | Hte-Savoie             | 140                                  | 46                  | 15.4                          | 7.76                           | 2.95      | 3.41                | 63%            | 56%                   |
| Total Léman        |                        | 863                                  | 111                 | 43.6                          | 4.60                           | 0.64      | 0.82                | 87%            | 82%                   |
| Total Rhône aval   |                        | 523                                  | 131                 | 105.5                         | 5.21                           | 2.25      | 2.35                | 74%            | 55%                   |
| Total Bassin CIPEL |                        | 1'386                                | 242                 | 149.1                         | 4.81                           | 1.04      | 1.36                | 82%            | 72%                   |

<sup>1)</sup> La concentration globale est ici exceptionnellement supérieure à la concentration traitée en raison du déversement d'un volume très important d'eaux très diluées.

Comme indiqué dans le texte consacré aux débits, une partie des déversements échappe à la mesure. Une estimation de ces charges a été réalisée en prenant un taux de déversement moyen déterminé à l'aide des données disponibles sur certaines STEP (représentant 48.7 % de la capacité des STEP du bassin du Léman). Ce taux moyen de déversement est de 8.3 % des charges entrantes. Il est donc estimé qu'environ 40 tonnes de phosphore total auraient été déversées dans le bassin du Léman sans être mesurées.

La figure 4 présente l'évolution entre 1991 et 2002 des charges en phosphore total rejetées dans le bassin du Léman. Les charges déversées (mesure et estimation) ne sont indiquées qu'à partir de l'année 2000.

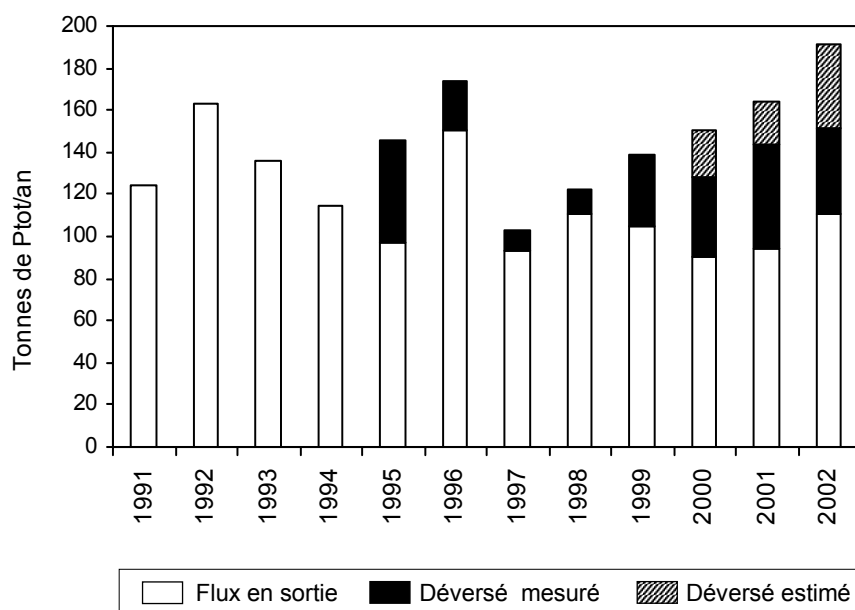


Figure 4 : Evolution des charges en phosphore total rejetées dans le bassin du Léman entre 1991 et 2002  
 Figure 4 : Change in the total phosphorus loads discharged into the Lake Geneva basin between 1991 and 2002

Pour le phosphore dissous ( $P-PO_4$ ), il n'est pas possible de faire une synthèse globale, en raison du manque de données. En effet, le paramètre  $P-PO_4$  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 43 % 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'élimination de  $P-PO_4$  est en hausse par rapport à celui observé pour l'année 2001, mais, conséquence des flux plus importants en entrée de STEP, les concentrations en sortie sont aussi en hausse. Le rendement sur les eaux traitées passe de 89 % à 96 % pour une concentration moyenne de sortie de 0.22 mgP/L. En augmentation également, le rendement global (prenant en compte les charges déversées en entrée ou au décanteur primaire) s'élève à 95 % avec une concentration moyenne de sortie de 0.38 mgP/L.

Le phosphore dissous (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. BILAN DES APPORTS EN PHOSPHORE AU LAC ET AUX COURS D'EAU PAR LES STEP

L'exploitation des résultats des contrôles a permis de déterminer pour les affluents du Léman et du Rhône aval les apports par les STEP en phosphore total et dissous. En couplant ces résultats à ceux obtenus par la surveillance des affluents à leur embouchure (QUETIN *et al.*, 2003), il est possible d'estimer, certes grossièrement, la part des STEP dans la charge totale parvenant au lac. L'interprétation de ces chiffres doit être prudente étant donné la fréquence très variable des contrôles de STEP (et aussi le non-contrôle de certaines STEP) et des prélèvements dans les affluents. En effet, le nombre de contrôles 24h pour les STEP varie de 4 à 365 par an et les charges déversées ne sont pas mesurées systématiquement ce qui conduit certainement à une sous-estimation des apports dus aux STEP. Quant aux affluents du Léman, les prélèvements à l'embouchure sont réalisés en continu pour certains cours d'eau (Rhône amont, Dranse, Aubonne, Venoge, Promenthouse, Chamberonne, Morges) et par des prélèvements instantanés (Versoix) ou sur 24h pour d'autres (Eau Froide), de 12 à 24 fois par année.

La figure 6 permet de visualiser la part des STEP dans les flux en phosphore dissous mesurés à l'embouchure des cours d'eau. Cette part est sous-estimée étant donné que les STEP mesurant le phosphore dissous en sortie ne représentent que 73 % de la capacité totale des STEP du bassin du Léman. Pour certains cours d'eau, les charges en phosphore dissous apportées par les STEP représentent plus de la moitié, voire la presque totalité, de la charge totale. Pour d'autres affluents, les apports en phosphore dissous proviennent également d'autres sources (naturelles, agricoles, pertes des réseaux, etc.). Les proportions des charges rejetées par les STEP dans les différents cours d'eau sont semblables à celles observées en 2001 sauf pour la Versoix dont les apports originaires des STEP sont passés de moins de 50 % à plus de 80%. Cette évolution peut s'expliquer d'un part par des contrôles des STEP et des prélèvements à l'embouchure moins fréquents que pour d'autres affluents et d'autre part par une baisse des flux mesurés à l'embouchure conjointement à une hausse des rejets dus aux STEP.

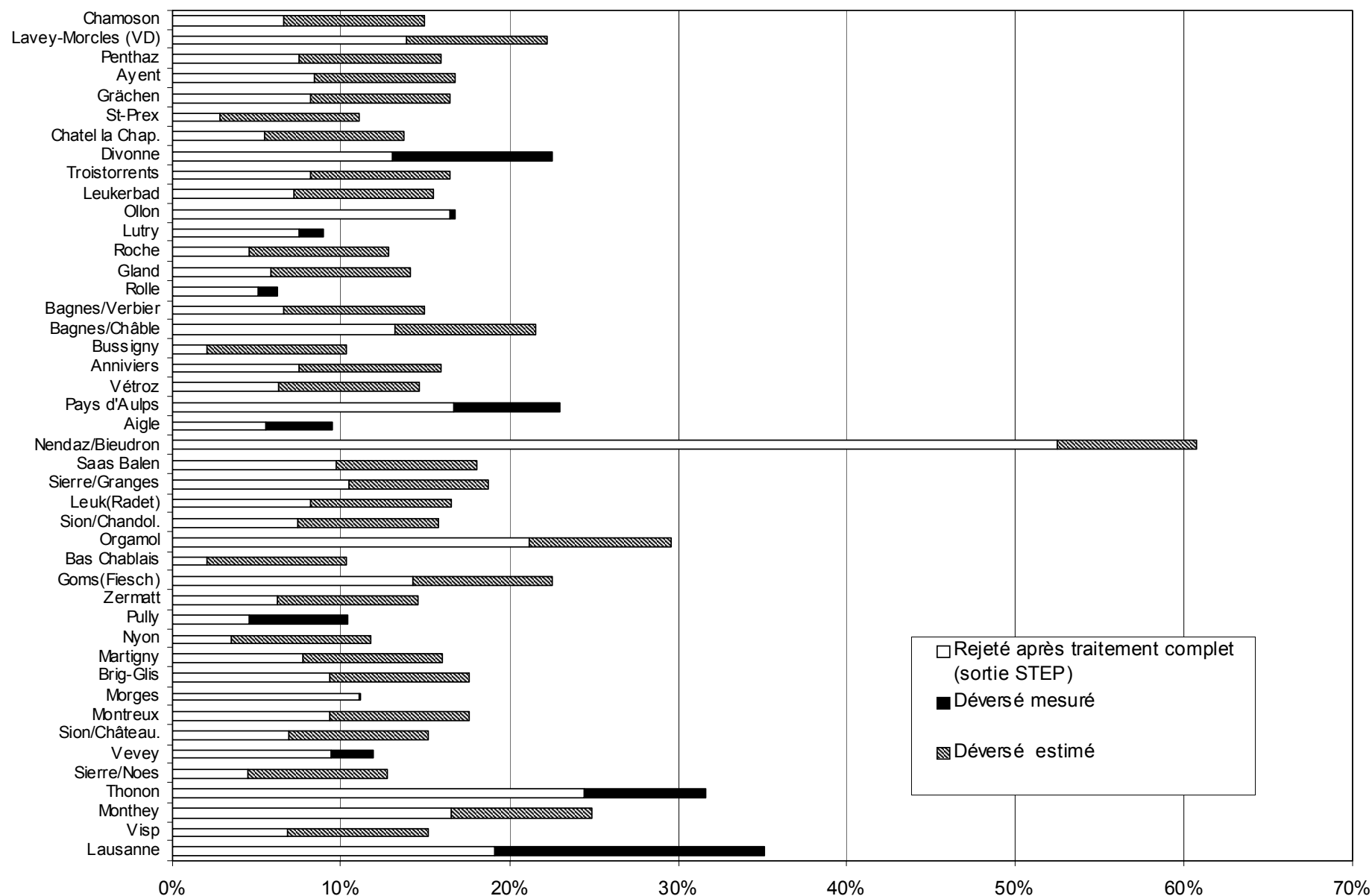


Figure 5 : Charges journalières en phosphore total rejetées après traitement et déversées sans traitement, exprimées en % de la charge totale  
 Figure 5 : Daily loads of total phosphorus treated and discharged without treatment, expressed as a percentage of the total load



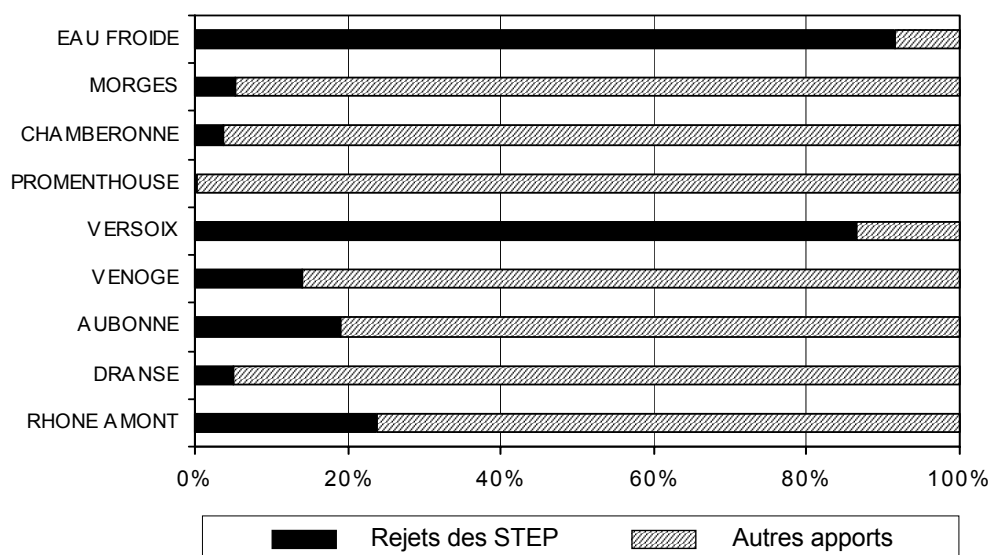


Figure 6 : Flux annuels (en 2002) en phosphore dissous à l'embouchure des affluents du Léman provenant des STEP et d'autres sources, exprimés en % du flux total à l'embouchure

Figure 6 : Annual flows (in 2002) of dissolved phosphorus at the mouth of the tributaries of Lake Geneva arising from the WWTP and other sources, expressed as a percentage of the total flow at the mouth

## 6. PISTES DE REDUCTION DES APPORTS EN PHOSPHORE PAR LES SYSTEMES D'ASSAINISSEMENT

La concentration en phosphore total dans le Léman n'atteint pas encore l'objectif de  $20 \mu\text{g P}_{\text{tot}}/\text{L}$  fixé par la CIPEL. Dans le but de réduire les apports en phosphore d'origine domestique, quelques pistes d'actions ont été évaluées et, pour certaines, leurs effets chiffrés en tonnes par an. Ces chiffres doivent être considérés comme des ordres de grandeurs très généraux étant donné les nombreux facteurs d'incertitude comme le manque de renseignements à propos des débits déversés et l'évaluation réaliste mais très simpliste des pertes dues aux réseaux et des rejets des habitants non raccordés.

Pour l'année 2002, les apports en phosphore total dans le lac ont été estimés à approximativement 280 T/an répartis comme l'indique la figure 7.

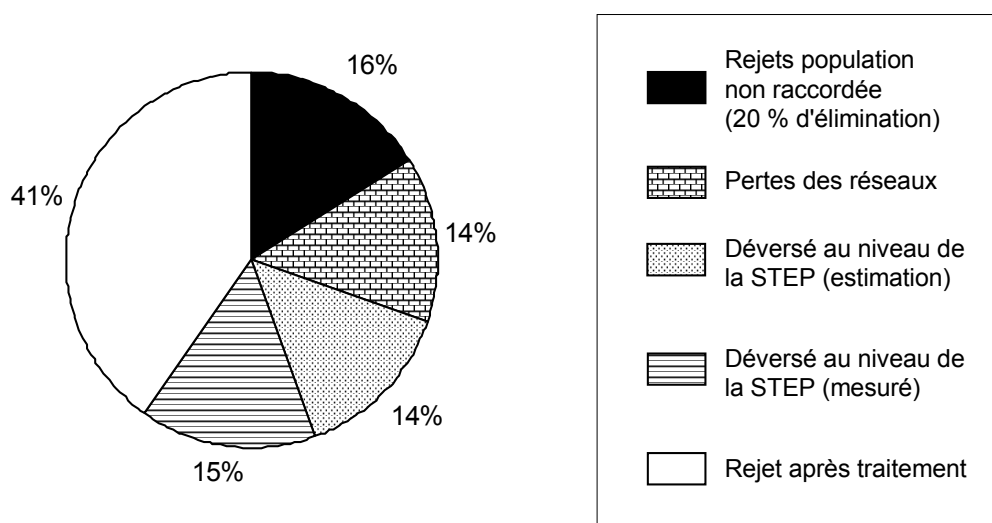


Figure 7 : Répartition des apports en phosphore total au Léman

Figure 7 : Distribution of the total phosphorus input into lake Geneva

Les différentes propositions d'actions pour réduire les apports en phosphore sont :

- ▶ Amélioration de l'efficacité de l'élimination du phosphore sur les eaux traitées dans les STEP pour atteindre au moins 90 % de rendement pour chaque STEP (voire 95 %), les STEP ayant un rendement supérieur à 90% (95%) le conservant. Cela conduirait à une réduction des apports au lac de 40 tonnes (70 tonnes) de phosphore total par an.
- ▶ Diminution de 50 % des charges déversées au niveau des STEP (en entrée et en cours de traitement) qui permettrait de réduire de 20 tonnes par an les apports au lac.
- ▶ Diminution des charges perdues par les réseaux ; ici le gain en phosphore n'a pas été chiffré.
- ▶ Raccordement des habitants devant être raccordés selon la planification existante, soit 24'000 habitants permanents et 38'000 habitants saisonniers. Cette mesure permettrait de retenir une quinzaine de tonnes de phosphore chaque année.
- ▶ Diminution des apports à la source; il existe encore un potentiel de réduction des apports provenant des ménages et des industries. Par exemple les lessives en France et les produits pour lave-vaisselle en Suisse et en France contiennent toujours des phosphates.

## 7. 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. Toutefois 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'élimination.

### Débits

Les débits spécifiques sont relativement élevés et conduisent à des déversements d'eaux usées en entrée de stations, en cours de traitement et probablement dans les réseaux. Afin de mieux connaître et ensuite maîtriser ce phénomène, plusieurs mesures peuvent être envisagées selon le type de réseau : analyse détaillée du réseau et optimisation de son fonctionnement, séparation des eaux claires parasites, création de bassin de stockage.

### Fonctionnement des STEP

Pour le bassin du Léman, les rendements d'épuration ( $DBO_5$  et phosphore total) sur le traitement des eaux, sans tenir compte des charges déversées en entrée de STEP ou en cours de traitement, se sont stabilisés en marquant une légère baisse. Par contre, les rendements globaux ont augmenté grâce à la diminution des déversements. Pour l'ensemble du bassin CIPEL, la mise en service de la nouvelle STEP d'Aïre a eu un effet positif sur le bilan global de l'épuration, particulièrement pour l'élimination de la matière organique.

Concernant l'élimination du phosphore total par les STEP du bassin du Léman, le bilan est contrasté. Le point positif est la baisse des charges déversées sans traitement complet. Par contre la somme des charges rejetées par les STEP a augmenté, contribuant à une hausse générale des apports en phosphore total par les STEP. La diminution du rendement d'épuration des eaux traitées a un effet important sur l'évolution des charges rejetées. L'amélioration du fonctionnement des STEP afin de garantir des taux d'élimination du phosphore plus élevés permettrait de diminuer les charges en phosphore parvenant au Léman.

## BIBLIOGRAPHIE

CLERC, A. et FIAUX, J.-J. (2002) : Contrôle des stations d'épuration. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2001, 131-153.

QUETIN, P., DORIOZ, J.-M. et RAPIN, F. (2003) : Bilan des apports par les affluents au Léman et au Rhône à l'aval de Genève. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2002, 107-120.

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.

**Annexe 1 :** Contrôle et fonctionnement des STEP pour la matière organique exprimée en DBO<sub>5</sub> en 2002  
**Appendix 1 :** Testing and function of the WWTP for organic matter, expressed as DBO<sub>5</sub> in 2002

| Canton/<br>Département | Bassin<br>versant | Nombre<br>total de<br>STEP | Capacité totale<br>des STEP (60<br>g DBO <sub>5</sub> /hab.j) | Nombre<br>de STEP<br>contrôlées | Capacité des<br>STEP<br>contrôlées (60<br>g DBO <sub>5</sub> / hab.j) | STEP<br>contrôlées<br>en % de la<br>capacité | Population<br>raccordée<br>(perm.+ 2/3<br>sais.) sur les<br>STEP<br>contrôlées | Débit<br>(m³/jour) |         |                      |                  |
|------------------------|-------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------|----------------------|------------------|
|                        |                   |                            |                                                               |                                 |                                                                       |                                              |                                                                                | Total              | Traité  | Déversé en<br>entrée | Déversé au<br>DP |
| Ain                    | Léman             | 3                          | 19'750                                                        | 2                               | 19'300                                                                | 98%                                          | 13'011                                                                         | 8'201              | 7'463   | 739                  | 0                |
| Genève                 |                   | 2                          | 7'625                                                         | 2                               | 7'625                                                                 | 100%                                         | 5'589                                                                          | 2'333              | 2'333   | 0                    | 0                |
| Haute-Savoie           |                   | 18                         | 199'596                                                       | 7                               | 188'150                                                               | 94%                                          | 155'355                                                                        | 39'492             | 36'449  | 3'060                | 0                |
| Valais                 |                   | 69                         | 1'397'507                                                     | 51                              | 1'363'015                                                             | 98%                                          | 453'606                                                                        | 222'369            | 222'049 | 16                   | 304              |
| Vaud                   |                   | 74                         | 1'000'777                                                     | 21                              | 783'427                                                               | 78%                                          | 423'154                                                                        | 224'567            | 195'664 | 16'772               | 12'131           |
| Total Léman            |                   | 166                        | 2'625'255                                                     | 83                              | 2'361'517                                                             | 90%                                          | 1'050'714                                                                      | 496'962            | 463'957 | 20'587               | 12'436           |
| Ain                    | Rhône<br>aval     | 9                          | 52'623                                                        | 3                               | 46'060                                                                | 88%                                          | 30'335                                                                         | 19'186             | 17'136  | 2'051                | 0                |
| Genève                 |                   | 13                         | 1'043'407                                                     | 9                               | 912'313                                                               | 87%                                          | 447'719                                                                        | 207'280            | 100'190 | 5'274                | 102'885          |
| Haute-Savoie           |                   | 31                         | 403'810                                                       | 8                               | 270'000                                                               | 67%                                          | 186'837                                                                        | 52'617             | 47'032  | 3'742                | 433              |
| Total Rhône aval       |                   | 53                         | 1'499'840                                                     | 20                              | 1'228'373                                                             | 82%                                          | 664'891                                                                        | 279'083            | 164'357 | 11'067               | 103'318          |
| Total Bassin CIPEL     |                   | 219                        | 4'125'095                                                     | 103                             | 3'589'890                                                             | 87%                                          | 1'715'606                                                                      | 776'046            | 628'314 | 31'654               | 115'754          |

| Canton/<br>Département | Bassin<br>versant | Flux de matières organiques<br>en kg O <sub>2</sub> /jour |                       |                   |                       |                  | Concentration en DBO <sub>5</sub><br>(mg O <sub>2</sub> /L) |                   |                                 | Rendement moyen (pondéré<br>par les débits) en % |                         |
|------------------------|-------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------|
|                        |                   | Entrée flux<br>total                                      | Entrée flux<br>traité | Sortie<br>traitée | Déversé à<br>l'entrée | Déversé au<br>DP | Entrée                                                      | Sortie<br>traitée | Sortie<br>traitée +<br>déversée | Eaux traitées                                    | Traitées +<br>déversées |
| Ain                    | Léman             | 742                                                       | 686                   | 32                | 56                    | 0                | 90.48                                                       | 4.25              | 10.73                           | 95%                                              | 88%                     |
| Genève                 |                   | 271                                                       | 271                   | 20                | 0                     | 0                | 116.26                                                      | 8.58              | 8.58                            | 93%                                              | -                       |
| Haute-Savoie           |                   | 6'984                                                     | 6'611                 | 1'369             | 373                   | 0                | 176.84                                                      | 37.57             | 44.10                           | 79%                                              | 75%                     |
| Valais                 |                   | 57'934                                                    | 57'933                | 2'766             | 1                     | 60               | 260.53                                                      | 12.46             | 12.71                           | 95%                                              | 95%                     |
| Vaud                   |                   | 35'060                                                    | 33'650                | 5'271             | 1'409                 | 1'115            | 156.12                                                      | 26.94             | 34.71                           | 84%                                              | 78%                     |
| Total Léman            |                   | 100'991                                                   | 99'151                | 9'458             | 1'840                 | 1'175            | 203.22                                                      | 20.39             | 25.10                           | 90%                                              | 88%                     |
| Ain                    | Rhône<br>aval     | 2'818                                                     | 2'757                 | 191               | 61                    | 0                | 146.88                                                      | 11.16             | 13.17                           | 93%                                              | 91%                     |
| Genève                 |                   | 35'944                                                    | 35'081                | 2'525             | 863                   | 8'885            | 173.41                                                      | 25.21             | 58.91                           | 93%                                              | 66%                     |
| Haute-Savoie           |                   | 10'990                                                    | 10'476                | 795               | 514                   | 40               | 208.87                                                      | 16.91             | 26.36                           | 92%                                              | 88%                     |
| Total Rhône aval       |                   | 49'753                                                    | 48'314                | 3'512             | 1'439                 | 8'925            | 178.27                                                      | 21.37             | 19.78                           | 93%                                              | 72%                     |
| Total Bassin CIPEL     |                   | 150'743                                                   | 147'465               | 12'970            | 3'278                 | 10'100           | 194.25                                                      | 20.64             | 33.97                           | 91%                                              | 83%                     |

**Annexe 2 :** Contrôle et fonctionnement des STEP pour le phosphore total en 2002  
**Appendix 2 :** Testing and function of the WWTP for total phosphorus in 2002

| Canton/<br>Département | Bassin<br>versant | Nombre total<br>de STEP | Capacité<br>totale des<br>STEP (60 g<br>DBO <sub>5</sub> /hab.j) | Nombre de<br>STEP<br>contrôlées | Capacité<br>des STEP<br>contrôlées<br>(60 g DBO <sub>5</sub> /<br>hab.j) | STEP<br>contrôlées<br>en % de la<br>capacité | Population<br>raccordée<br>(perm.+ 2/3<br>sais.) sur les<br>STEP<br>contrôlées | Débit<br>(m³/jour) |         |         |                  |
|------------------------|-------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------|---------|------------------|
|                        |                   |                         |                                                                  |                                 |                                                                          |                                              |                                                                                | Total              | Traité  | Déversé | Déversé au<br>DP |
| Ain                    | Léman             | 3                       | 19'750                                                           | 2                               | 19'300                                                                   | 98%                                          | 13'011                                                                         | 8'165              | 7'393   | 772     | 0                |
| Genève                 |                   | 2                       | 7'625                                                            | 2                               | 7'625                                                                    | 100%                                         | 5'589                                                                          | 2'333              | 2'333   | 0       | 0                |
| Haute-Savoie           |                   | 18                      | 199'596                                                          | 7                               | 188'150                                                                  | 94%                                          | 155'355                                                                        | 41'062             | 37'727  | 3'352   | 0                |
| Valais                 |                   | 69                      | 1'397'507                                                        | 51                              | 1'363'015                                                                | 98%                                          | 453'606                                                                        | 201'260            | 199'785 | 15      | 1'459            |
| Vaud                   |                   | 74                      | 1'000'777                                                        | 63                              | 978'252                                                                  | 98%                                          | 545'457                                                                        | 261'837            | 229'597 | 17'904  | 14'337           |
| Total Léman            |                   | 166                     | 2'625'255                                                        | 125                             | 2'556'342                                                                | 97%                                          | 1'173'017                                                                      | 514'656            | 476'834 | 22'043  | 15'796           |
| Ain                    | Rhône<br>aval     | 9                       | 52'623                                                           | 3                               | 46'060                                                                   | 88%                                          | 30'335                                                                         | 17'929             | 16'761  | 1'168   | 0                |
| Genève                 |                   | 13                      | 1'043'407                                                        | 8                               | 896'480                                                                  | 86%                                          | 445'998                                                                        | 207'669            | 99'513  | 5'271   | 102'885          |
| Haute-Savoie           |                   | 31                      | 403'810                                                          | 7                               | 236'500                                                                  | 59%                                          | 179'637                                                                        | 49'525             | 43'024  | 4'375   | 173              |
| Total Rhône aval       |                   | 53                      | 1'499'840                                                        | 18                              | 1'179'040                                                                | 79%                                          | 655'970                                                                        | 275'123            | 159'298 | 10'815  | 103'058          |
| Total Bassin CIPEL     |                   | 219                     | 4'125'095                                                        | 143                             | 3'735'382                                                                | 91%                                          | 1'828'987                                                                      | 789'779            | 636'132 | 32'858  | 118'854          |

| Canton/<br>Département | Bassin<br>versant | Flux de phosphore total<br>en kg Ptot/jour |                       |                |                                     |                  | Concentration en phosphore total<br>(mg Ptot/L) |                |                                 | Rendement moyen (pondéré<br>par les débits) en % |                         |
|------------------------|-------------------|--------------------------------------------|-----------------------|----------------|-------------------------------------|------------------|-------------------------------------------------|----------------|---------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------|
|                        |                   | Entrée flux<br>total                       | Entrée flux<br>traité | Sortie traitée | Déversé à<br>l'entrée(si<br>mesuré) | Déversé au<br>DP | Entrée                                          | Sortie traitée | Sortie<br>traitée +<br>déversée | Eaux traitées                                    | Traitées +<br>déversées |
| Ain                    | Léman             | 28                                         | 26                    | 4              | 2.2                                 | 0.0              | 3.45                                            | 0.49           | 0.71                            | 86%                                              | 79%                     |
| Genève                 |                   | 10                                         | 10                    | 1              | 0.0                                 | 0.0              | 4.12                                            | 0.57           | 0.57                            | 86%                                              | -                       |
| Haute-Savoie           |                   | 241                                        | 228                   | 45             | 13.1                                | 0.0              | 5.87                                            | 1.18           | 1.41                            | 80%                                              | 76%                     |
| Valais                 |                   | 882                                        | 882                   | 95             | 0.0                                 | 3.0              | 4.38                                            | 0.48           | 0.49                            | 89%                                              | 89%                     |
| Vaud                   |                   | 1'204                                      | 1'146                 | 159            | 57.9                                | 43.1             | 4.60                                            | 0.69           | 0.99                            | 86%                                              | 78%                     |
| Total Léman            |                   | 2'365                                      | 2'292                 | 304            | 73.2                                | 46.2             | 4.60                                            | 0.64           | 0.82                            | 87%                                              | 82%                     |
| Ain                    | Rhône<br>aval     | 117                                        | 115                   | 64             | 1.5                                 | 0.0              | 6.51                                            | 3.80           | <sup>1)</sup> 3.64              | 45%                                              | 44%                     |
| Genève                 |                   | 931                                        | 910                   | 167            | 20.6                                | 224.9            | 4.48                                            | 1.68           | 1.99                            | 82%                                              | 56%                     |
| Haute-Savoie           |                   | 384                                        | 342                   | 127            | 42.1                                | 1.0              | 7.76                                            | 2.95           | 3.43                            | 63%                                              | 56%                     |
| Total Rhône aval       |                   | 1'432                                      | 1'368                 | 358            | 64.2                                | 225.9            | 5.21                                            | 2.25           | 2.36                            | 74%                                              | 55%                     |
| Total Bassin CIPEL     |                   | 3'797                                      | 3'660                 | 662            | 137.4                               | 272.1            | 4.81                                            | 1.04           | 1.36                            | 82%                                              | 72%                     |

<sup>1)</sup> La concentration globale est ici exceptionnellement supérieure à la concentration traitée en raison du déversement d'un volume très important d'eaux très diluées.

**Annexe 3 :** Contrôle et fonctionnement des STEP pour le phosphore dissous (P-PO<sub>4</sub>) en 2002  
**Appendix 3 :** Testing and function of the WWTP for dissolved phosphorus in 2002

| Canton/<br>Département | Bassin<br>versant | Nombre total<br>de STEP | Capacité<br>totale des<br>STEP (60 g<br>DBO <sub>5</sub> /hab.j) | Nombre de<br>STEP<br>contrôlées | Capacité des<br>STEP<br>contrôlées<br>(60 g DBO <sub>5</sub> /<br>hab.j) | STEP<br>contrôlées<br>en % de la<br>capacité | Population<br>raccordée<br>(perm.+ 2/3<br>sais.) sur les<br>STEP<br>contrôlées | Débit<br>(m³/jour) |         |         |                  |
|------------------------|-------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------|---------|------------------|
|                        |                   |                         |                                                                  |                                 |                                                                          |                                              |                                                                                | Total              | Traité  | Déversé | Déversé au<br>DP |
| Ain                    | Léman             | 3                       | 19'750                                                           | 2                               | 19'300                                                                   | 98%                                          | 13'011                                                                         | 8'165              | 7'393   | 772     | 0                |
| Genève                 |                   | 2                       | 7'625                                                            | 2                               | 7'625                                                                    | 100%                                         | 5'589                                                                          | 2'333              | 2'333   | 0       | 0                |
| Haute-Savoie           |                   | 18                      | 199'596                                                          | 4                               | 57'550                                                                   | 29%                                          | 28'725                                                                         | 5'280              | 5'297   | 0       | 0                |
| Valais                 |                   | 69                      | 1'397'507                                                        | 2                               | 79'000                                                                   | 6%                                           | 33'215                                                                         | 13'246             | 13'246  | 0       | 0                |
| Vaud                   |                   | 74                      | 1'000'777                                                        | 62                              | 972'002                                                                  | 97%                                          | 540'482                                                                        | 256'304            | 223'408 | 18'306  | 14'590           |
| Total Léman            |                   | 166                     | 2'625'255                                                        | 72                              | 1'135'477                                                                | 43%                                          | 621'021                                                                        | 285'327            | 251'676 | 19'078  | 14'590           |
| Ain                    | Rhône<br>aval     | 9                       | 52'623                                                           | 3                               | 46'060                                                                   | 88%                                          | 30'335                                                                         | 17'929             | 16'761  | 1'168   | 0                |
| Genève                 |                   | 13                      | 1'043'407                                                        | 9                               | 912'313                                                                  | 87%                                          | 447'719                                                                        | 206'452            | 104'182 | 4'686   | 99'106           |
| Haute-Savoie           |                   | 31                      | 403'810                                                          | 2                               | 115'000                                                                  | 28%                                          | 88'126                                                                         | 22'553             | 21'693  | 133     | 173              |
| Total Rhône aval       |                   | 53                      | 1'499'840                                                        | 14                              | 1'073'373                                                                | 72%                                          | 566'180                                                                        | 246'934            | 142'636 | 5'987   | 99'279           |
| Total Bassin CIPEL     |                   | 219                     | 4'125'095                                                        | 86                              | 2'208'850                                                                | 54%                                          | 1'187'201                                                                      | 532'261            | 394'312 | 25'065  | 113'869          |

| Canton/<br>Département | Bassin<br>versant | Flux en phosphore dissous<br>en kg P-PO <sub>4</sub> /jour |                       |                |                       |                                 | Concentration en phosphore dissous<br>(mg P-PO <sub>4</sub> /L) |                |                                 | Rendement moyen (pondéré<br>par les débits) en % |                         |
|------------------------|-------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------|---------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------|
|                        |                   | Entrée flux<br>total                                       | Entrée flux<br>traité | Sortie traitée | Déversé à<br>l'entrée | Déversé au<br>DP (si<br>mesuré) | Entrée                                                          | Sortie traitée | Sortie<br>traitée +<br>déversée | Eaux traitées                                    | Traitées +<br>déversées |
| Ain                    | Léman             | 21                                                         | 19                    | 5              | 1.8                   | 0.0                             | 2.52                                                            | 0.71           | 0.95                            | 72%                                              | 66%                     |
| Genève                 |                   | 5                                                          | 5                     | 1              | 0.0                   | 0.0                             | 2.32                                                            | 0.23           | 0.23                            | 90%                                              | -                       |
| Haute-Savoie           |                   | 22                                                         | 22                    | 1              | 0.0                   | 0.0                             | 4.20                                                            | 0.19           | 0.19                            | 95%                                              | 95%                     |
| Valais                 |                   | 28                                                         | 28                    | 3              | 0.0                   | 0.0                             | 2.09                                                            | 0.25           | 0.25                            | 88%                                              | 88%                     |
| Vaud                   |                   | 1'707                                                      | 1'686                 | 49             | 20.7                  | 17.2                            | 6.66                                                            | 0.22           | 0.39                            | 96%                                              | 95%                     |
| Total Léman            |                   | 1'783                                                      | 1'760                 | 56             | 22.5                  | 17.2                            | 6.25                                                            | 0.22           | 0.38                            | 96%                                              | 95%                     |
| Ain                    | Rhône<br>aval     | 65                                                         | 64                    | 49             | 0.9                   | 0.0                             | 3.62                                                            | 2.93           | 2.99                            | 23%                                              | 23%                     |
| Genève                 |                   | 338                                                        | 331                   | 92             | 6.5                   | 70.6                            | 1.64                                                            | 0.88           | 1.62                            | 51%                                              | 50%                     |
| Haute-Savoie           |                   | 83                                                         | 83                    | 61             | 0.1                   | 0.6                             | 3.70                                                            | 2.83           | 2.86                            | 26%                                              | 26%                     |
| Total Rhône aval       |                   | 486                                                        | 479                   | 202            | 7.5                   | 71.1                            | 1.97                                                            | 1.42           | 1.97                            | 43%                                              | 42%                     |
| Total Bassin CIPEL     |                   | 2'269                                                      | 2'239                 | 258            | 30.0                  | 88.4                            | 4.26                                                            | 0.65           | 0.96                            | 85%                                              | 83%                     |

**Annexe 4 :** Bilans des apports en matière organique (DBO<sub>5</sub>), phosphore total et phosphore dissous (P-PO<sub>4</sub>)  
**Appendix 4 :** Assessment of the inputs of organic matter (DBO<sub>5</sub>), total phosphorus and dissolved phosphorus (P-PO<sub>4</sub>)

| Canton /<br>Département | Bassin<br>versant | STEP<br>contrôlées<br>en % de la<br>capacité | Flux de matière organique<br>en t O <sub>2</sub> /an |                |                        |            | Rendement<br>moyen sur<br>les eaux<br>traitées +<br>déversées |
|-------------------------|-------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------|------------------------|------------|---------------------------------------------------------------|
|                         |                   |                                              | Entrée flux<br>total                                 | Sortie traitée | Déversé<br>(si mesuré) | Abattement |                                                               |
| Ain                     | Léman             | 98%                                          | 270.9                                                | 11.6           | 20.6                   | 239        | 88%                                                           |
| Genève                  |                   | 100%                                         | 99.0                                                 | 7.3            | 0.0                    | 92         | 93%                                                           |
| Haute-Savoie            |                   | 94%                                          | 2'549.2                                              | 499.8          | 136.2                  | 1'913      | 75%                                                           |
| Valais                  |                   | 98%                                          | 21'145.8                                             | 1'009.5        | 22.4                   | 20'136     | 95%                                                           |
| Vaud                    |                   | 78%                                          | 12'796.8                                             | 1'924.0        | 921.2                  | 10'023     | 78%                                                           |
| Total Léman             |                   | 90%                                          | 36'861.6                                             | 3'452.2        | 1'100.3                | 32'403     | 88%                                                           |
| Ain                     | Rhône aval        | 88%                                          | 1'028.6                                              | 69.8           | 22.4                   | 936        | 91%                                                           |
| Genève                  |                   | 87%                                          | 13'119.7                                             | 921.7          | 3'558.1                | 8'640      | 66%                                                           |
| Haute-Savoie            |                   | 67%                                          | 4'011.5                                              | 290.3          | 202.4                  | 3'533      | 88%                                                           |
| Total Rhône aval        |                   | 82%                                          | 18'159.7                                             | 1'281.8        | 3'782.9                | 13'110     | 72%                                                           |
| Total Bassin CIPEL      |                   | 87%                                          | 55'021.3                                             | 4'734.0        | 4'883.2                | 45'512     | 83%                                                           |

| Canton /<br>Département | Bassin<br>versant | STEP<br>contrôlées<br>en % de la<br>capacité | Flux du phosphore total<br>en t P/an |                |                        |            | Rendement<br>moyen sur<br>les eaux<br>traitées +<br>déversées |
|-------------------------|-------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|----------------|------------------------|------------|---------------------------------------------------------------|
|                         |                   |                                              | Entrée flux<br>total                 | Sortie traitée | Déversé<br>(si mesuré) | Abattement |                                                               |
| Ain                     | Léman             | 98%                                          | 10.3                                 | 1.3            | 0.8                    | 8          | 79%                                                           |
| Genève                  |                   | 100%                                         | 3.5                                  | 0.5            | 0.0                    | 3          | 86%                                                           |
| Haute-Savoie            |                   | 94%                                          | 87.9                                 | 16.3           | 4.8                    | 67         | 76%                                                           |
| Valais                  |                   | 98%                                          | 322.0                                | 34.8           | 1.1                    | 286        | 89%                                                           |
| Vaud                    |                   | 98%                                          | 439.6                                | 58.2           | 36.9                   | 345        | 78%                                                           |
| Total Léman             |                   | 97%                                          | 863.3                                | 111.1          | 43.6                   | 709        | 82%                                                           |
| Ain                     | Rhône aval        | 88%                                          | 42.6                                 | 23.3           | 0.6                    | 19         | 44%                                                           |
| Genève                  |                   | 86%                                          | 339.8                                | 61.1           | 89.6                   | 189        | 56%                                                           |
| Haute-Savoie            |                   | 59%                                          | 140.3                                | 46.3           | 15.7                   | 78         | 56%                                                           |
| Total Rhône aval        |                   | 79%                                          | 522.8                                | 130.6          | 105.9                  | 286        | 55%                                                           |
| Total Bassin CIPEL      |                   | 91%                                          | 1386.1                               | 241.7          | 149.5                  | 995        | 72%                                                           |

| Canton /<br>Département | Bassin<br>versant | STEP<br>contrôlées<br>en % de la<br>capacité | Flux du phosphore dissous<br>en t P-PO <sub>4</sub> /an |                |                        |            | Rendement<br>moyen sur<br>les eaux<br>traitées +<br>déversées |
|-------------------------|-------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------|------------------------|------------|---------------------------------------------------------------|
|                         |                   |                                              | Entrée flux<br>total                                    | Sortie traitée | Déversé<br>(si mesuré) | Abattement |                                                               |
| Ain                     | Léman             | 98%                                          | 7.5                                                     | 1.9            | 0.7                    | 5          | 66%                                                           |
| Genève                  |                   | 100%                                         | 2.0                                                     | 0.2            | 0.0                    | 2          | 90%                                                           |
| Haute-Savoie            |                   | 29%                                          | 8.1                                                     | 0.4            | 0.0                    | 8          | 95%                                                           |
| Valais                  |                   | 6%                                           | 10.1                                                    | 1.2            | 0.0                    | 9          | 88%                                                           |
| Vaud                    |                   | 97%                                          | 623.1                                                   | 17.9           | 13.8                   | 591        | 95%                                                           |
| Total Léman             |                   | 43%                                          | 650.8                                                   | 20.4           | 14.5                   | 616        | 95%                                                           |
| Ain                     | Rhône<br>aval     | 88%                                          | 23.7                                                    | 17.9           | 0.3                    | 5          | 23%                                                           |
| Genève                  |                   | 87%                                          | 123.3                                                   | 33.5           | 28.1                   | 62         | 50%                                                           |
| Haute-Savoie            |                   | 28%                                          | 30.4                                                    | 22.4           | 0.2                    | 8          | 26%                                                           |
| Total Rhône aval        |                   | 72%                                          | 177.4                                                   | 73.9           | 28.7                   | 75         | 42%                                                           |
| Total Bassin CIPEL      |                   | 54%                                          | 828.2                                                   | 94.2           | 43.2                   | 691        | 83%                                                           |

**Annexe 5 :** Comparaison des flux de phosphore rejetés par les STEP et des flux mesurés à l'embouchure des affluents du Léman

**Appendix 5 :** Comparison of the flows of phosphorus out of the WWTP and the flows measured at the mouth of the rivers flowing into Lake Geneva

| Bassin versant             | Capacité totale <sup>1)</sup> | Phosphore dissous  |                               |                                  |     | Phosphore total    |                               |                                  |                    |
|----------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----|--------------------|-------------------------------|----------------------------------|--------------------|
|                            |                               | Capacité contrôlée | Mesuré à l'embouchure en T/an | Flux total rejeté dans le milieu |     | Capacité contrôlée | Mesuré à l'embouchure en T/an | Flux total rejeté dans le milieu |                    |
|                            |                               |                    |                               | en T/an                          |     |                    |                               | en T/an                          |                    |
| Rhone amont                | 1'450'561                     | 73%                | 40.2                          | 9.60                             | 24% | 99%                | 922.5                         | 34.7                             | 4%                 |
| Dranse                     | 54'520                        | 40%                | 5.3                           | 0.27                             | 5%  | 91%                | 31.5                          | 3.9                              | 13%                |
| Aubonne                    | 14'450                        | 100%               | 3.3                           | 0.63                             | 19% | 100%               | 16.5                          | 1.2                              | 7%                 |
| Venoge                     | 60'263                        | 100%               | 4.4                           | 0.62                             | 14% | 100%               | 38.1                          | 1.7                              | 4%                 |
| Versoix                    | 8'425                         | 260%               | 3.0                           | 2.60                             | 86% | 100%               | 6.5                           | 0.4                              | 6%                 |
| Promenthouse               | 500                           | 100%               | 0.7                           | 0.00                             | 0%  | 100%               | 7.0                           | 0.0                              | 0%                 |
| Chamberonne                | 3'938                         | 100%               | 1.5                           | 0.06                             | 4%  | 100%               | 5.2                           | 0.1                              | 2%                 |
| Morges                     | 4'163                         | 100%               | 0.7                           | 0.04                             | 5%  | 100%               | 5.0                           | 0.1                              | 3%                 |
| Eau Froide                 | 16'283                        | 100%               | 0.1                           | 0.05                             | 91% | 100%               | 0.26                          | 0.3                              | <sup>2)</sup> 111% |
|                            |                               |                    |                               |                                  |     |                    |                               |                                  |                    |
| Léman direct               | 904'192                       | 96%                |                               | 26.79                            |     | 100%               |                               | 102.1                            |                    |
|                            |                               |                    |                               |                                  |     |                    |                               |                                  |                    |
| Autres affluents           | 100'415                       | 81%                |                               | 1.36                             |     | 88%                |                               | 4.7                              |                    |
|                            |                               |                    |                               |                                  |     |                    |                               |                                  |                    |
| Autres affluents           | -                             | -                  | 0.73                          |                                  |     |                    | 24.2                          |                                  |                    |
|                            |                               |                    |                               |                                  |     |                    |                               |                                  |                    |
| <b>Total apports Léman</b> | <b>1'167'147</b>              |                    | <b>59.8</b>                   | <b>42.0</b>                      |     |                    | <b>1'057</b>                  | <b>149.2</b>                     |                    |

<sup>1)</sup> Il s'agit de la capacité et de la population raccordée totale (population permanente et 2/3 de la population saisonnière) sur les bassins versants concernés, et non pas de la capacité des STEP contrôlées.

<sup>2)</sup> Ce pourcentage supérieur à 100 % s'explique par un nombre restreint de mesures à l'embouchure (12 par an) par rapport à des mesures presque journalières des rejets des STEP. Les apports en phosphore total à l'embouchure ont ainsi été sous-estimés.





# ANALYSES COMPARATIVES INTERLABORATOIRES

## COMPARATIVE INTERLABORATORY ANALYSES

Campagne 2002

PAR

**Andrés STRAWCZYNSKI**

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

**François PASQUINI**

SERVICE CANTONAL DE L'ÉCOLOGIE DE L'EAU  
17, ch. de la Verseuse, Case postale 53, CH - 1219 AIRE

### RÉSUMÉ

*Au cours de l'année 2002, les laboratoires membres du groupe de travail "Méthodologie" de la CIPEL ont pu participer à 6 essais interlaboratoires. Ces essais ont été préparés par des membres ou des membres invités du groupe de travail. Des analyses d'éléments nutritifs majeurs (cycles de l'azote et du phosphore, matière organique, ions majeurs), de produits phytosanitaires (pesticides) et d'hydrocarbures totaux ont été effectuées sur des matrices allant d'échantillons synthétiques à des eaux industrielles, en passant par des eaux de distribution et minérales. Les résultats ont été traités pour la plupart dans le cadre du groupe de travail "Méthodologie", un traitement a été effectué par le laboratoire (membre invité) organisateur de l'essai. La participation varie entre quelques laboratoires pour les essais du type "STEP" et phytosanitaires à environ vingt laboratoires pour les analyses du type "lac + rivière".*

*Le traitement statistique montre que l'ensemble des essais peut être considéré comme bon à très bon. Le nombre de résultats aberrants est faible, et la dispersion, mis à part un ou deux cas particuliers, est bonne.*

### ABSTRACT

*During 2002, the laboratories belonging to the "Methodology" working group of the CIPEL took part in 6 interlaboratory surveys. These surveys had been prepared by members or co-opted members of the working group. Analyses of the main nutrient elements (nitrogen and phosphorus cycles, organic matter, main ions), of crop treatment-related substances (pesticides) and of total hydrocarbons were performed using grids ranging from synthetic samples to industrial water discharges, and including mains water supplies and mineral waters. Most of the findings were processed by the "Methodology" working group, and one analysis was carried out by the laboratory (a co-opted member) organizing the survey. The number of laboratories involved ranged from a few laboratories, for the "STEP" type and pesticide tests, to about twenty laboratories for the lake + river" type analyses.*

*The statistical analysis shows that all the data can be classified as good to very good. The number of aberrant values was small and the scatter, apart from in one or two obtained under special circumstances, was good.*

### 1. INTRODUCTION

Les données présentées correspondent aux essais interlaboratoires dont les résultats ont été discutés en 2002. 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 2002 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)
- des laboratoires fédéraux suisses (universitaires et de recherche : EPFL, EAWAG)
- des laboratoires privés suisses et français.

Tableau 1: Liste des analyses interlaboratoires organisées en 2002

Table 1 : List of the interlaboratory surveys organized in 2002

| Date       | Matrice                   | Paramètres           | Participants | Remarques                                         |
|------------|---------------------------|----------------------|--------------|---------------------------------------------------|
| 06.11.2001 | eaux usées industrielles  | hydrocarbures totaux | 12           | Préparé par M. Guillot, DLK technologies SA [1]   |
| 26.02.2002 | lac + rivière             | éléments majeurs     | 21           | Préparé par M. Lazzarotto, INRA Thonon [2]        |
| 26.02.2002 | eau minérale dopée        | pesticides           | 12           | Préparé par M. Ondrus, SPE Neuchâtel [3]          |
| 23.04.2002 | eau synthétique type STEP | éléments majeurs     | 4            | Organisé et traité par M. Duperron, LSEH-Lyon [4] |
| 24.09.2002 | lac + rivière             | éléments majeurs     | 18           | Préparé par M. Lazzarotto, INRA Thonon            |
| 24.09.2002 | eau minérale dopée        | pesticides           | 5            | Préparé par M. Ondrus, SPE Neuchâtel              |

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. Le test de GRUBBS (EURACHEM, 2000) a été abandonné en cours d'année.

La limite de répétabilité, notée "r", et la limite de reproductibilité, notée "R", qui figuraient dans le rapport 2001, ne sont plus reportées. Il était déjà mentionné que ces valeurs avaient une moindre signification lorsque l'ensemble des laboratoires n'utilisait pas la même méthode analytique. De plus, le passage à une nouvelle version du logiciel de traitement des résultats a permis de détecter une erreur dans le calcul de ces valeurs. De ce fait, nous n'en discuterons pas ici et nous axerons donc la discussion de la dispersion des résultats sur l'écart type. Le tableau 5 présente, à titre indicatif, les valeurs pour certains paramètres recalculés avec la nouvelle version du logiciel pour les essais "Lac + rivière" effectués entre 2000 et 2002.

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.

## 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 essais ont été préparés par Jérôme LAZZAROTTO [2].

Les tableaux 2a et 2b présentent les résultats des 4 échantillons analysés pendant l'année 2002.

#### **Chlorure :**

- l'écart type se situe entre 0.3 et 0.5 mgCl/L, et représente 5% au maximum.

#### **Carbone organique :**

- l'écart type varie entre 0.2 et 0.7 mgC/L, cette dernière valeur correspondant au niveau le plus élevé (3 mgC/L). D'une manière générale, il est inférieur à 0.4 mgC/L pour les niveaux inférieurs à 2 mgC/L.

#### **Ammonium :**

- les écarts types se situent entre 0.005 et 0.012 mgN/L, cette dernière valeur illustrant un essai où la dispersion a été particulièrement importante (moyenne 0.011 mgN/L, écart type 0.012 mgN/L).

#### **Nitrate :**

- l'écart type est de 0.050 mgN/L dans 3 cas sur 4, il atteint 0.100 mgN/L dans le quatrième essai.

**Nitrite :**

- l'écart type se situe entre 0.0002 et 0.0005 mgN/L, sauf pour un essai à un niveau plus élevé (0.019 mgN/L) où il atteint 0.0026 mgN/L.

**Azote total :**

- l'écart type se situe autour de 0.1 mgN/L pour les niveaux plus bas (environ 0.7 mgN/L), et atteint 0.2 mgN/L pour le niveau à 1.9 mgN/L.

**Orthophosphate :**

- deux valeurs étaient proches des limites de quantification, dont l'une même proche ou inférieure à la plupart des limites de détection (0.002 mgP/L). L'écart type se situe pourtant toujours entre 0.001 et 0.005 mgP/L.

**Phosphore total :**

- comme pour l'orthophosphate, l'écart type se situe entre 0.003 et 0.008 mgP/L, sauf pour un essai où la dispersion a été particulièrement importante (moyenne 0.018 mgP/L, écart type 0.017 mgP/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.

Comme pour l'année 2001, la variabilité absolue (la variabilité relative pour les très faibles valeurs que l'on peut rencontrer n'est pas significative) semble correcte, avec toujours une variabilité plus forte pour l'ammonium. Les conditions de transport et de stockage entre le moment de la distribution et l'analyse peuvent peut-être expliquer cette dispersion des résultats.

La figure 1 met en relation la déviation standard trouvée pour quelques paramètres lors des essais "lac + rivière" (2000-2002) avec le niveau de l'analyse (moyenne des résultats). L'essai de septembre 2001 n'a pas été considéré pour le P<sub>tot</sub> à cause de sa valeur trop élevée (0.281 mgP/L). Les observations faites en 2001 semblent se confirmer, notamment :

- la tendance générale de relation directe entre la déviation standard absolue et le niveau de l'essai pour le COD, le NH<sub>4</sub> et le PO<sub>4</sub>,
- la déviation standard absolue relativement constante autour de 0.005 - 0.008 mgP/L pour le P<sub>tot</sub>,
- le "seuil" à environ 0.15 mgC/L pour le COD et 0.002 mgP/L pour le PO<sub>4</sub> semble ne pas pouvoir être franchi,
- la déviation standard relative pratiquement toujours entre 10 et 20 % pour le COD.

La figure 2 présente l'évolution des résultats (valeurs figurant au tableau 5) pour ces 4 paramètres entre 2000 et 2002.

## 3. PHYTOSANITAIRES

Les essais ont été préparés par Jiri ONDRUS [3]. Le système mis en place depuis l'année dernière, à savoir un échantillon ("mix A") dont la liste de paramètres reste identique, a été poursuivi.

Les tableaux 3a et 3b présentent les résultats détaillés, paramètre par paramètre.

Suite à une erreur de préparation, les teneurs des ajouts de l'essai de février 2002 sont trop élevées d'un facteur 10. Bien que les concentrations soient plus élevées, les résultats (récupération, dispersion) sont moins bons, ceci pouvant être expliqué par le fait que les concentrations se situent en dehors de la gamme pour laquelle les méthodes analytiques ont été développées.

Malgré le fait que seulement 2 laboratoires ont présenté leurs résultats, il est constaté un très faible taux de récupération (4 %) du Fluoxypyr. Un autre résultat à remarquer est celui du Metamitron de septembre 2002, avec un taux de récupération de 163 %. Cela provient du fait que les cartouches utilisées pour les extractions (solide/liquide) ne sont pas totalement polyvalentes et elles n'arrivent pas à récupérer toutes les substances avec la même efficacité. Pour résoudre ce genre de problème, il faut travailler avec un système de pré-concentration liquide/liquide. Des tests vont être effectués.

Pour tous les autres paramètres et en ne tenant que partiellement compte de l'essai de février, les résultats peuvent être considérés comme très bons, avec des taux de récupération situés pour la très grande majorité entre 85 et 115 % et de bons écarts types absolus (de quelques ng/L à une dizaine de ng/L).

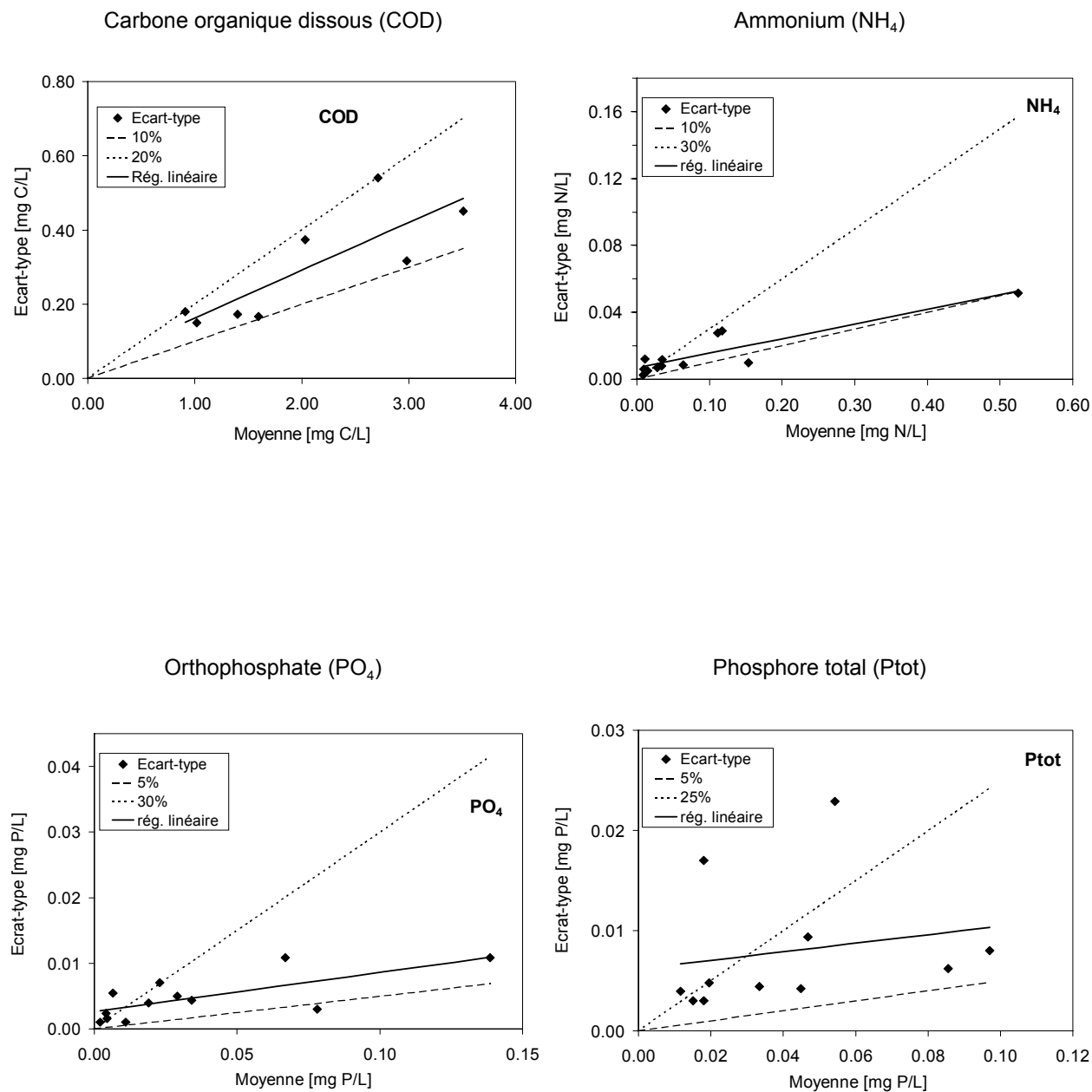


Figure 1 : Ecart-type en fonction du niveau de l'essai (essais "lac + rivière" 2000-2002)

Figure 1 : Standard deviation in terms of the level of the test ("lake + river" tests 2000-2002)

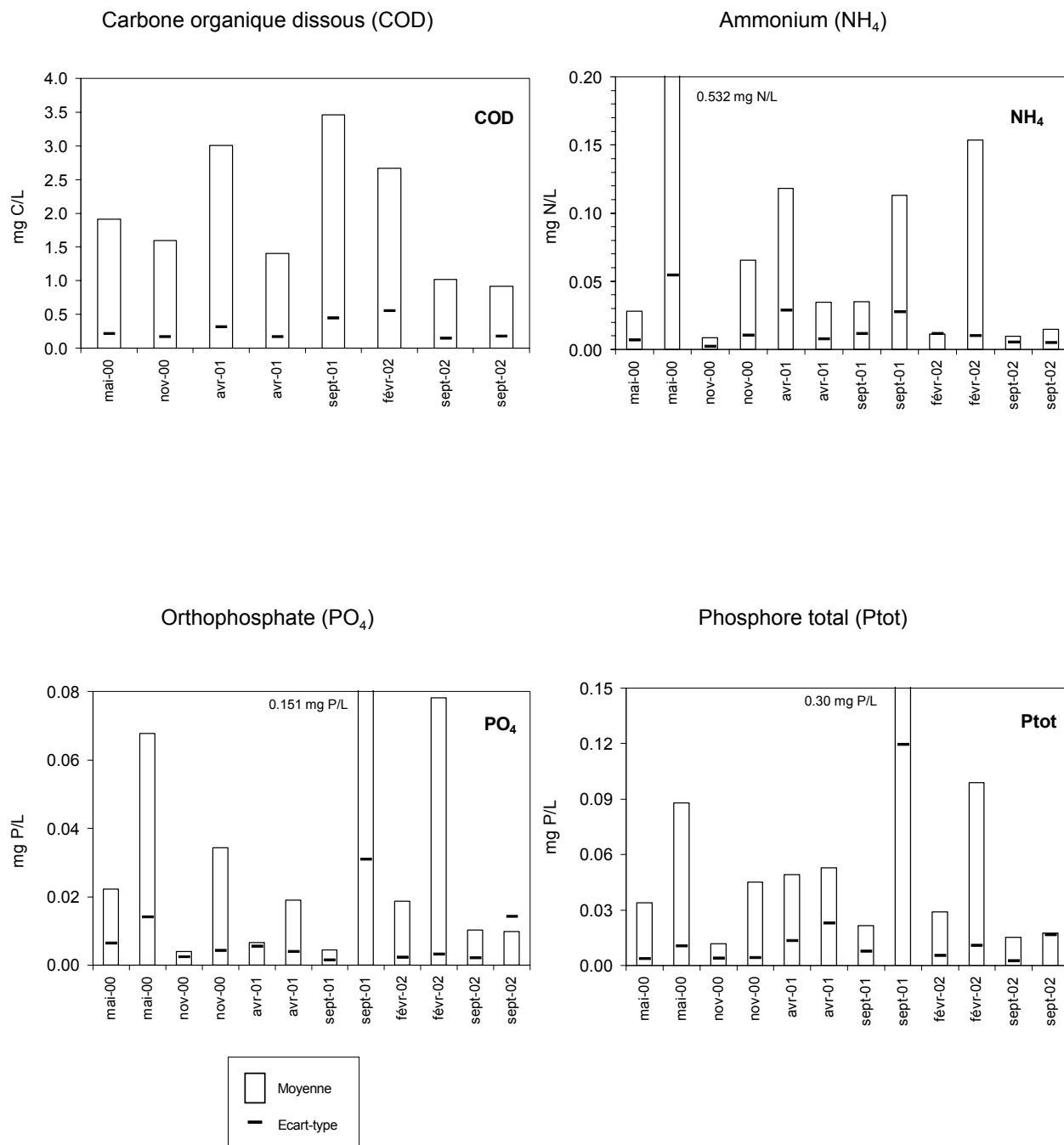


Figure 2 : Evolution des résultats (moyenne / Ecart-type) pour les essais "lac + rivière" 2000-2002

Figure 2 : Changes in the findings (mean / standard deviation) for the lake + river tests 2000-2002

#### 4. HYDROCARBURES TOTAUX (EAU RÉSIDUELLE INDUSTRIELLE)

Cet essai a été préparé par Olivier GUILLOT [1]. Certains laboratoires ont donné 2 résultats, obtenus avec des méthodes analytiques différentes.

Les résultats ne sont pas très bons, la dispersion est très grande. La moyenne se situe à 69 mg/L, et l'écart type à 31 mg/L, soit 31 % (avec les arrondis). La figure 3 montre qu'on peut classer les résultats en 3 catégories : un petit tiers des résultats se situe autour de 40 mg/L, un autre tiers aux alentours de 60 mg/L, le reste allant de 80 à 130 mg/L.

Un groupe de laboratoires se propose d'étudier plus en détail cette analyse pour essayer de trouver les raisons de cette dispersion.

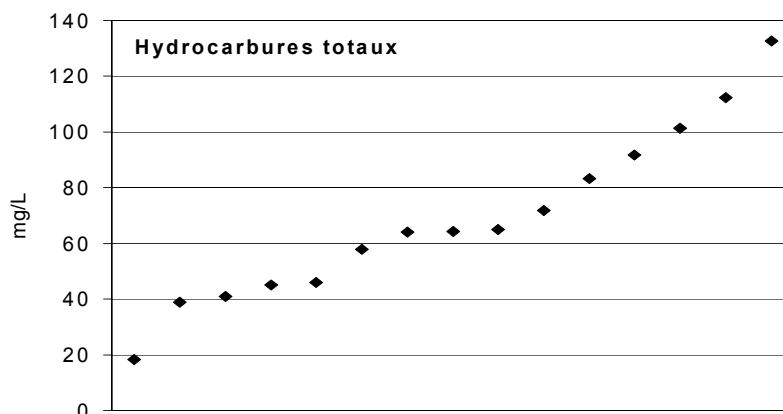


Figure 3 : Classement par ordre croissant des résultats pour les hydrocarbures totaux

Figure 3 : Classification in rising order of the results for total hydrocarbons

#### 5. ÉCHANTILLON SYNTHÉTIQUE TYPE "STEP"

Bernard DUPERRON [4] a organisé et traité cette calibration à laquelle ont participé 44 laboratoires, dont 4 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 4 laboratoires "CIPEL" ont reçu une appréciation générale de "bons résultats" à "très bons résultats", sauf pour le phosphore total où un laboratoire est légèrement supérieur à la valeur limite ( 2 écarts types).

#### 6. CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Les résultats des essais 2002 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), alors que l'essai hydrocarbures n'était pas très concluant (dispersion trop importante des résultats). La tendance à atteindre des "paliers" en terme de variabilité des résultats (écarts types) semble se confirmer, sauf cas particuliers sur quelques paramètres isolés.

La participation aux essais "phytosanitaires" a été relativement faible, une augmentation du nombre de laboratoires est souhaitable afin que l'étude puisse être significative du point de vue statistique.

Une décision devra probablement être prise en 2003, voire 2004, concernant l'accréditation des essais interlaboratoires.

Tableau 2a : Éléments majeurs dans les échantillons d'eaux de lac et rivière

Table 2a : Main elements in the lake and river water samples

| PARAMETRES        | R = Rivière ; L = Lac | DATE       | LABORATOIRES<br>"STATISTIQUES" | ABERRANTS |         | MOYENNE | ECART-TYPE |     |
|-------------------|-----------------------|------------|--------------------------------|-----------|---------|---------|------------|-----|
|                   |                       |            |                                | Dixon     | Cochran |         | u          | %   |
| CI                | L                     | 26.02.2002 | 19                             | 2         |         | 7.67    | 0.29       | 3.8 |
|                   |                       | 24.09.2002 | 16                             | 2         |         | 7.58    | 0.37       | 4.9 |
|                   | R                     | 26.02.2002 | 20                             | 1         |         | 14.26   | 0.46       | 3.2 |
|                   |                       | 24.09.2002 | 18                             | 3         |         | 6.22    | 0.14       | 2.2 |
| COT               | L                     | 26.02.2002 | 12                             |           |         | 1.10    | 0.35       | 32  |
|                   | R                     | 26.02.2002 | 13                             |           |         | 3.04    | 0.67       | 22  |
|                   |                       | 24.09.2002 | 11                             |           |         | 1.10    | 0.18       | 16  |
| COD               | L                     | 26.02.2002 | 13                             |           |         | 2.71    | 0.54       | 20  |
|                   |                       | 24.09.2002 | 13                             |           |         | 1.02    | 0.15       | 14  |
|                   |                       | 24.09.2002 | 10                             |           |         | 0.91    | 0.18       | 19  |
| N-NH <sub>4</sub> | L                     | 26.02.2002 | 12                             | 1         |         | 0.011   | 0.012      | 105 |
|                   |                       | 24.09.2002 | 10                             | 2         |         | 0.010   | 0.006      | 57  |
|                   | R                     | 26.02.2002 | 16                             | 3         |         | 0.154   | 0.010      | 6.7 |
|                   |                       | 24.09.2002 | 11                             | 2         |         | 0.015   | 0.005      | 35  |
| N-NO <sub>3</sub> | L                     | 26.02.2002 | 21                             |           |         | 0.56    | 0.04       | 7.7 |
|                   |                       | 24.09.2002 | 18                             |           |         | 0.59    | 0.05       | 9.2 |
|                   | R                     | 26.02.2002 | 19                             | 2         |         | 1.51    | 0.05       | 3.1 |
|                   |                       | 24.09.2002 | 18                             |           |         | 0.57    | 0.10       | 18  |
| N-NO <sub>2</sub> | L                     | 26.02.2002 | 11                             | 3         |         | 0.0012  | 0.0002     | 15  |
|                   |                       | 24.09.2002 | 7                              | 3         | 2       | 0.0008  | 0.0002     | 26  |
|                   | R                     | 26.02.2002 | 17                             | 1         |         | 0.0192  | 0.0026     | 14  |
|                   |                       | 24.09.2002 | 9                              | 2         |         | 0.0016  | 0.0005     | 33  |
| N-Ntot            | L                     | 26.02.2002 | 12                             |           |         | 0.69    | 0.09       | 13  |
|                   |                       | 24.09.2002 | 9                              |           |         | 0.73    | 0.11       | 15  |
|                   | R                     | 26.02.2002 | 12                             |           |         | 1.89    | 0.23       | 12  |
|                   |                       | 24.09.2002 | 9                              |           |         | 0.69    | 0.10       | 15  |
| P-PO <sub>4</sub> | L                     | 26.02.2002 | 16                             |           |         | 0.029   | 0.005      | 18  |
|                   |                       | 24.09.2002 | 9                              | 2         | 4       | 0.011   | 0.001      | 13  |
|                   | R                     | 26.02.2002 | 15                             | 3         |         | 0.078   | 0.003      | 4.4 |
|                   |                       | 24.09.2002 | 5                              | 2         | 2       | 0.002   | 0.001      | 82  |
| P-Ptot            | L                     | 26.02.2002 | 15                             | 1         |         | 0.018   | 0.003      | 16  |
|                   |                       | 24.09.2002 | 7                              | 1         | 2       | 0.015   | 0.003      | 17  |
|                   | R                     | 26.02.2002 | 15                             | 2         |         | 0.097   | 0.008      | 8.2 |
|                   |                       | 24.09.2002 | 9                              |           |         | 0.018   | 0.017      | 94  |

Tableau 2b : Éléments majeurs dans les échantillons d'eaux de lac et rivière

Table 2b : Main elements in the lake + river water samples

| PARAMETRES        | R = Rivière ; L = Lac | DATE       | LABORATOIRES<br>"STATISTIQUES" | ABERRANTS |         | MOYENNE<br>u | ECART-TYPE |     |
|-------------------|-----------------------|------------|--------------------------------|-----------|---------|--------------|------------|-----|
|                   |                       |            |                                | Dixon     | Cochran |              | u          | %   |
| COND              | L                     | 26.02.2002 | 17                             | 2         |         | 303          | 4          | 1.3 |
|                   |                       | 24.09.2002 | 15                             |           |         | 304          | 7          | 2.4 |
|                   | R                     | 26.02.2002 | 17                             | 2         |         | 529          | 7          | 1.3 |
|                   |                       | 24.09.2002 | 15                             |           |         | 940          | 14         | 1.5 |
| Ca                | L                     | 26.02.2002 | 13                             | 2         |         | 2.27         | 0.06       | 2.5 |
|                   |                       | 24.09.2002 | 16                             |           |         | 2.31         | 0.08       | 3.4 |
|                   | R                     | 26.02.2002 | 12                             | 3         |         | 4.79         | 0.01       | 2.0 |
|                   |                       | 24.09.2002 | 15                             | 1         |         | 8.88         | 0.30       | 3.4 |
| Mg                | L                     | 26.02.2002 | 14                             | 1         |         | 0.50         | 0.03       | 6.0 |
|                   |                       | 24.09.2002 | 16                             |           |         | 0.49         | 0.03       | 6.5 |
|                   | R                     | 26.02.2002 | 14                             | 1         |         | 0.62         | 0.04       | 6.1 |
|                   |                       | 24.09.2002 | 16                             |           |         | 1.87         | 0.08       | 4.0 |
| Na                | L                     | 26.02.2002 | 15                             |           |         | 5.48         | 0.34       | 6.3 |
|                   |                       | 24.09.2002 | 16                             |           |         | 5.51         | 0.34       | 6.2 |
|                   | R                     | 26.02.2002 | 15                             |           |         | 8.96         | 0.63       | 7.0 |
|                   |                       | 24.09.2002 | 16                             |           |         | 5.47         | 0.39       | 7.2 |
| K                 | L                     | 26.02.2002 | 15                             |           |         | 1.47         | 0.10       | 7.0 |
|                   |                       | 24.09.2002 | 16                             |           |         | 1.51         | 0.16       | 11  |
|                   | R                     | 26.02.2002 | 15                             |           |         | 2.00         | 0.14       | 7.1 |
|                   |                       | 24.09.2002 | 16                             |           |         | 1.03         | 0.12       | 12  |
| TAC               | L                     | 26.02.2002 | 13                             | 1         |         | 1.79         | 0.02       | 1.4 |
|                   |                       | 24.09.2002 | 12                             | 1         |         | 1.82         | 0.03       | 1.9 |
|                   | R                     | 26.02.2002 | 13                             | 1         |         | 5.01         | 0.07       | 1.3 |
|                   |                       | 24.09.2002 | 11                             | 2         |         | 3.65         | 0.04       | 1.1 |
| SO <sub>4</sub>   | L                     | 26.02.2002 | 19                             |           |         | 47.40        | 1.38       | 2.9 |
|                   |                       | 24.09.2002 | 16                             | 1         |         | 46.44        | 1.57       | 3.4 |
|                   | R                     | 26.02.2002 | 18                             |           |         | 14.36        | 0.73       | 5.1 |
|                   |                       | 24.09.2002 | 16                             |           |         | 339.00       | 154.00     | 4.4 |
| SiO <sub>2</sub>  | L                     | 26.02.2002 | 12                             | 1         |         | 1.20         | 0.15       | 13  |
|                   |                       | 24.09.2002 | 11                             | 1         | 1       | 1.52         | 0.09       | 6.0 |
|                   | R                     | 26.02.2002 | 11                             | 2         |         | 5.92         | 0.31       | 5.2 |
|                   |                       | 24.09.2002 | 10                             |           | 3       | 4.46         | 0.64       | 14  |
| DT                | L                     | 26.02.2002 | 10                             |           |         | 2.80         | 0.04       | 1.4 |
|                   |                       | 24.09.2002 | 8                              |           |         | 2.85         | 0.09       | 3.2 |
|                   | R                     | 26.02.2002 | 9                              | 1         |         | 5.45         | 0.05       | 0.9 |
|                   |                       | 24.09.2002 | 7                              |           |         | 10.71        | 0.52       | 4.8 |
| MES               | R                     | 26.02.2002 | 12                             | 2         |         | 6.4          | 1.0        | 15  |
|                   |                       | 24.09.2002 | 9                              |           |         | 1.5          | 1.2        | 80  |
| KMnO <sub>4</sub> | L                     | 24.09.2002 | 5                              |           |         | 2.72         | 0.20       | 7.5 |
|                   | R                     | 24.09.2002 | 5                              |           |         | 3.20         | 0.54       | 17  |

Unités (u) : toutes les analyses en mg/l,  
sauf : COND en µS/cm à 25°C, DT et TAC en méq/l.



Tableau 3 : a) Phytosanitaires, échantillon "de suivi" (mix A)  
b) Phytosanitaires, échantillon "variable" (mix B)

Table 3 : a) Pesticides, fix sample (mix A)  
b) Pesticides, "variable" sample (mix B)

| MIX A                   | DATE       | LABORATOIRES<br>"STATISTIQUES" | ABERRANTS |         | AJOUT | MOYENNE | RECUPERATION | ECART-TYPE |     |
|-------------------------|------------|--------------------------------|-----------|---------|-------|---------|--------------|------------|-----|
|                         |            |                                | Dixon     | Cochran |       |         |              | ng/L       | %   |
| Atrazine                | 26.02.2002 | 11                             | 1         |         | 160   | 158     | 99           | 31         | 20  |
|                         | 24.09.2002 | 6                              |           |         | 85    | 88      | 104          | 10         | 12  |
| Déséthylatrazine        | 26.02.2002 | 8                              | 2         |         | 400   | 335     | 84           | 29         | 8.7 |
|                         | 24.09.2002 | 5                              |           |         | 130   | 129     | 99           | 25         | 19  |
| Diéthyltoluamide (DEET) | 26.02.2002 | 9                              |           |         | 400   | 371     | 93           | 150        | 40  |
|                         | 24.09.2002 | 4                              |           |         | 90    | 74      | 82           | 4          | 5.8 |
| Ethofumesate            | 26.02.2002 | 10                             |           |         | 300   | 327     | 109          | 87         | 27  |
|                         | 24.09.2002 | 3                              |           |         | 30    | 30      | 100          | 6          | 19  |
| Metamitron              | 26.02.2002 | 8                              |           |         | 360   | 283     | 79           | 142        | 50  |
|                         | 24.09.2002 | 4                              |           |         | 27    | 44      | 163          | 18         | 40  |
| Metribuzin              | 26.02.2002 | 9                              |           |         | 300   | 308     | 103          | 127        | 41  |
|                         | 24.09.2002 | 4                              |           |         | 42    | 41      | 98           | 6          | 15  |
| Simazine                | 26.02.2002 | 12                             |           |         | 200   | 199     | 100          | 45         | 23  |
|                         | 24.09.2002 | 6                              |           |         | 20    | 22      | 110          | 5          | 21  |
| Terbutylazine           | 26.02.2002 | 11                             | 1         |         | 180   | 170     | 94           | 36         | 21  |
|                         | 24.09.2002 | 6                              |           |         | 28    | 32      | 114          | 7          | 22  |

| MIX B                | DATE       | LABORATOIRES<br>"STATISTIQUES" | ABERRANTS |         | AJOUT | MOYENNE | RECUPERATION | ECART-TYPE |     |
|----------------------|------------|--------------------------------|-----------|---------|-------|---------|--------------|------------|-----|
|                      |            |                                | Dixon     | Cochran |       |         |              | ng/L       | %   |
| Alachlor             | 26.02.2002 | 8                              |           |         | 600   | 647     | 108          | 148        | 23  |
| Carbofuran           | 26.02.2002 | 8                              |           |         | 900   | 970     | 108          | 236        | 24  |
| Chlorthalonil        | 26.02.2002 | 3                              |           |         | 860   | 538     | 63           | 625        | 116 |
| Fluoxypyr            | 26.02.2002 | 2                              |           |         | 1300  | 52      | 4            | 37         | 71  |
| Isoproturon          | 26.02.2002 | 6                              |           |         | 500   | 462     | 92           | 112        | 24  |
| Metolachlor          | 26.02.2002 | 9                              |           |         | 760   | 729     | 96           | 143        | 20  |
| Propachlor           | 26.02.2002 | 9                              |           |         | 1200  | 942     | 79           | 244        | 25  |
| Atrazine             | 24.09.2002 | 6                              |           |         | 31    | 30      | 97           | 4          | 12  |
| Déséthylatrazine     | 24.09.2002 | 5                              |           |         | 63    | 60      | 95           | 17         | 28  |
| Désisopropylatrazine | 24.09.2002 | 5                              |           |         | 50    | 48      | 96           | 17         | 35  |
| Diuron               | 24.09.2002 | 4                              |           |         | 42    | 36      | 86           | 2          | 6.8 |
| Isoproturon          | 24.09.2002 | 5                              |           |         | 36    | 33      | 92           | 5          | 17  |
| Simazine             | 24.09.2002 | 6                              |           |         | 21    | 22      | 105          | 2          | 11  |
| Terbutylazine        | 24.09.2002 | 6                              |           |         | 16    | 18      | 113          | 4          | 24  |

Tableau 4 : Echantillon synthétique type "STEP"

Table 4 : Synthetic "STEP" type sample (water treatment facility)

| PARAMETRES       | ECHANTILLON | VALEUR CIBLE | TOUS LABORATOIRES |            |      |  | LABORATOIRES "CIPEL" |         |         |
|------------------|-------------|--------------|-------------------|------------|------|--|----------------------|---------|---------|
|                  |             |              | MOYENNE           | ECART-TYPE |      |  | MINIMUM              | MAXIMUM | MOYENNE |
|                  |             | u            | u                 | u          | %    |  | u                    | u       | u       |
| DCO              | A           | 220          | 216               | 12         | 6    |  | 226                  | 231     | 228     |
|                  | B           | 55           | 55                | 7          | 13   |  | 56                   | 62      | 59      |
| DBO <sub>5</sub> | B           | 140          | 143               | 13         | 9    |  | 126                  | 164     | 150     |
| NTK              | B           | 44.7         | 43.2              | 2.5        | 6    |  | 43.8                 | 44.4    | 44.1    |
| NH <sub>4</sub>  | B           | 9.7          | 10.1              | 1.2        | 11   |  | 9.5                  | 10.3    | 9.8     |
| P <sub>tot</sub> | A           | 4.9          | 4.9               | 0.4        | 9    |  | 4.9                  | 5.8     | 5.3     |
| PO <sub>4</sub>  | A           | 4.9          | 4.9               | 0.3        | 7    |  | 4.9                  | 5.3     | 5.0     |
| MES              | C           | 60           | 54                | 3          | 5    |  | 51                   | 54      | 53      |
| NO <sub>3</sub>  | A           | 2.3          | 2.3               | 0.3        | 13.9 |  | 2.1                  | 2.3     | 2.2     |

Unités (u) : mg/l, sauf MES en mg  
(PO<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub> et NO<sub>3</sub> ne sont pas exprimés en P et N).

Tableau 5 : Éléments majeurs dans les échantillons d'eaux de lac et rivière (récapitulatif 2000 - 2002)

Table 5 : Main elements in the lake + river water samples (summary 2000 - 2002)

| DATE     | R = Rivière ; L = Lac | PARAMETRE       | UNITES | LABORATOIRES<br>"STATISTIQUES" | ABERRANTS |         | MOYENNE | ECART-TYPE |     | REPET.<br>"I" | REPROD.<br>"R" |
|----------|-----------------------|-----------------|--------|--------------------------------|-----------|---------|---------|------------|-----|---------------|----------------|
|          |                       |                 |        |                                | Dixon     | Cochran |         |            | %   |               |                |
| 03.05.00 | L                     | NH <sub>4</sub> | mg N/L | 17                             | 0         | 1       | 0.028   | 0.007      | 25  | 0.005         | 0.020          |
| 03.05.00 | R                     | NH <sub>4</sub> | mg N/L | 17                             | 1         | 4       | 0.532   | 0.055      | 10  | 0.031         | 0.155          |
| 15.11.00 | L                     | NH <sub>4</sub> | mg N/L | 14                             | 0         | 0       | 0.009   | 0.002      | 28  | 0.003         | 0.007          |
| 15.11.00 | R                     | NH <sub>4</sub> | mg N/L | 17                             | 0         | 0       | 0.066   | 0.011      | 16  | 0.015         | 0.033          |
| 03.04.01 | L                     | NH <sub>4</sub> | mg N/L | 19                             | 0         | 0       | 0.118   | 0.029      | 24  | 0.019         | 0.088          |
| 03.04.01 | R                     | NH <sub>4</sub> | mg N/L | 17                             | 1         | 0       | 0.035   | 0.008      | 23  | 0.004         | 0.023          |
| 25.09.01 | L                     | NH <sub>4</sub> | mg N/L | 12                             | 0         | 0       | 0.035   | 0.012      | 33  | 0.005         | 0.034          |
| 25.09.01 | R                     | NH <sub>4</sub> | mg N/L | 12                             | 0         | 0       | 0.113   | 0.028      | 25  | 0.006         | 0.076          |
| 26.02.02 | L                     | NH <sub>4</sub> | mg N/L | 12                             | 1         | 1       | 0.011   | 0.012      | 102 | 0.003         | 0.033          |
| 26.02.02 | R                     | NH <sub>4</sub> | mg N/L | 14                             | 3         | 3       | 0.154   | 0.010      | 6.5 | 0.003         | 0.028          |
| 24.09.02 | L                     | NH <sub>4</sub> | mg N/L | 8                              | 2         | 0       | 0.010   | 0.006      | 57  | 0.004         | 0.016          |
| 24.09.02 | R                     | NH <sub>4</sub> | mg N/L | 11                             | 2         | 0       | 0.015   | 0.005      | 35  | 0.008         | 0.016          |
| 03.05.00 | R                     | COD             | mg C/L | 12                             | 1         | 3       | 1.91    | 0.22       | 12  | 0.12          | 0.62           |
| 15.11.00 | R                     | COD             | mg C/L | 12                             | 0         | 0       | 1.60    | 0.17       | 10  | 0.12          | 0.50           |
| 03.04.01 | L                     | COD             | mg C/L | 14                             | 0         | 0       | 3.01    | 0.32       | 11  | 0.19          | 0.85           |
| 03.04.01 | R                     | COD             | mg C/L | 14                             | 1         | 0       | 1.40    | 0.17       | 12  | 0.20          | 0.52           |
| 25.09.01 | R                     | COD             | mg C/L | 9                              | 0         | 0       | 3.46    | 0.45       | 13  | 0.32          | 1.27           |
| 26.02.02 | R                     | COD             | mg C/L | 12                             | 0         | 1       | 2.67    | 0.56       | 21  | 0.15          | 1.45           |
| 24.09.02 | L                     | COD             | mg C/L | 13                             | 0         | 0       | 1.02    | 0.15       | 14  | 0.16          | 0.44           |
| 24.09.02 | R                     | COD             | mg C/L | 10                             | 0         | 0       | 0.91    | 0.18       | 19  | 0.15          | 0.53           |
| 03.05.00 | L                     | PO <sub>4</sub> | mg P/L | 19                             | 0         | 1       | 0.022   | 0.006      | 29  | 0.004         | 0.018          |
| 03.05.00 | R                     | PO <sub>4</sub> | mg P/L | 19                             | 1         | 1       | 0.068   | 0.014      | 21  | 0.006         | 0.039          |
| 15.11.00 | L                     | PO <sub>4</sub> | mg P/L | 11                             | 0         | 0       | 0.004   | 0.002      | 59  | 0.002         | 0.007          |
| 15.11.00 | R                     | PO <sub>4</sub> | mg P/L | 18                             | 0         | 0       | 0.034   | 0.004      | 13  | 0.003         | 0.012          |
| 03.04.01 | L                     | PO <sub>4</sub> | mg P/L | 13                             | 1         | 0       | 0.007   | 0.005      | 84  | 0.004         | 0.016          |
| 03.04.01 | R                     | PO <sub>4</sub> | mg P/L | 17                             | 1         | 0       | 0.019   | 0.004      | 21  | 0.006         | 0.011          |
| 25.09.01 | L                     | PO <sub>4</sub> | mg P/L | 6                              | 1         | 0       | 0.005   | 0.002      | 35  | 0.003         | 0.005          |
| 25.09.01 | R                     | PO <sub>4</sub> | mg P/L | 12                             | 0         | 0       | 0.151   | 0.031      | 20  | 0.009         | 0.087          |
| 26.02.02 | L                     | PO <sub>4</sub> | mg P/L | 14                             | 1         | 2       | 0.019   | 0.002      | 12  | 0.002         | 0.006          |
| 26.02.02 | R                     | PO <sub>4</sub> | mg P/L | 14                             | 3         | 3       | 0.078   | 0.003      | 4.1 | 0.003         | 0.009          |
| 24.09.02 | L                     | PO <sub>4</sub> | mg P/L | 11                             | 2         | 1       | 0.010   | 0.002      | 21  | 0.004         | 0.007          |
| 24.09.02 | R                     | PO <sub>4</sub> | mg P/L | 8                              | 0         | 0       | 0.010   | 0.014      | 145 | 0.005         | 0.041          |
| 03.05.00 | L                     | Ptot            | mg P/L | 15                             | 0         | 2       | 0.034   | 0.004      | 11  | 0.004         | 0.011          |
| 03.05.00 | R                     | Ptot            | mg P/L | 15                             | 1         | 1       | 0.088   | 0.011      | 12  | 0.005         | 0.030          |
| 15.11.00 | L                     | Ptot            | mg P/L | 15                             | 0         | 0       | 0.012   | 0.004      | 34  | 0.005         | 0.012          |
| 15.11.00 | R                     | Ptot            | mg P/L | 16                             | 0         | 0       | 0.045   | 0.004      | 9.4 | 0.005         | 0.011          |
| 03.04.01 | L                     | Ptot            | mg P/L | 14                             | 1         | 2       | 0.049   | 0.014      | 28  | 0.009         | 0.037          |
| 03.04.01 | R                     | Ptot            | mg P/L | 16                             | 0         | 0       | 0.053   | 0.023      | 43  | 0.014         | 0.063          |
| 25.09.01 | L                     | Ptot            | mg P/L | 10                             | 0         | 0       | 0.022   | 0.008      | 36  | 0.006         | 0.023          |
| 25.09.01 | R                     | Ptot            | mg P/L | 11                             | 0         | 0       | 0.300   | 0.120      | 40  | 0.091         | 0.326          |
| 26.02.02 | L                     | Ptot            | mg P/L | 15                             | 2         | 1       | 0.029   | 0.005      | 19  | 0.004         | 0.015          |
| 26.02.02 | R                     | Ptot            | mg P/L | 14                             | 1         | 2       | 0.099   | 0.011      | 11  | 0.005         | 0.031          |
| 24.09.02 | L                     | Ptot            | mg P/L | 7                              | 1         | 2       | 0.015   | 0.003      | 17  | 0.002         | 0.007          |
| 24.09.02 | R                     | Ptot            | mg P/L | 9                              | 0         | 0       | 0.018   | 0.017      | 94  | 0.008         | 0.047          |

## ABRÉVIATIONS

|                   |                                |                        |                  |                      |                       |
|-------------------|--------------------------------|------------------------|------------------|----------------------|-----------------------|
| Ca                | calcium                        | mgCa/L                 | Mg               | magnésium            | mgMg/L                |
| COD               | carbone organique dissous      | mgC/L                  | Na               | sodium               | mgNa/L                |
| COND              | conductivité (à 25°C)          | μS/cm                  | NH <sub>4</sub>  | ammonium             | mgN/L                 |
| COT               | carbone organique total        | mgC/L                  | NO <sub>2</sub>  | nitrite              | mgN/L                 |
| Cl                | chlorure                       | mgCl/L                 | NO <sub>3</sub>  | nitrate              | mgN/L                 |
| DCO               | demande chimique en oxygène    | mgO <sub>2</sub> /L    | NTK              | azote Kjeldahl       | mgN/L                 |
| DBO <sub>5</sub>  | demande biochimique en oxygène | mgO <sub>2</sub> /L    | PO <sub>4</sub>  | orthophosphate       | mgP/L                 |
| DT                | dureté totale                  | méq/L                  | Ptot             | phosphore total      | mgP/L                 |
| K                 | potassium                      | mgK/L                  | SiO <sub>2</sub> | silice               | mgSiO <sub>2</sub> /L |
| MES               | matières en suspension         | mg/L                   | SO <sub>4</sub>  | sulfate              | mgSO <sub>4</sub> /L  |
| KMnO <sub>4</sub> | oxydabilité                    | mgKMnO <sub>4</sub> /L | TAC              | titre alcalimétrique | méq/L                 |

## BIBLIOGRAPHIE

EURACHEM (2000) : Selection, use and interpretation of proficiency testing scheme by laboratories. EURACHEM guide, p. 18.

ISO (1986) : Fidélité des méthodes d'essai. Norme internationale ISO 5725, 2ème édition.

STRAWCZYNSKI, A. et PASQUINI, F. (2002) : Analyses comparatives interlaboratoires. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2001, 155-165.

TAYLOR, J.K. (1987) : Quality assurance of chemical measurements. Lewis Publishers, inc., ISBN 0-87371-097-5, p. 15.

### Adresses :

- [1] DLK Technologies SA, Jambe-Ducommun 6a, CH - 2400 LE LOCLE.
- [2] INRA-UMR/CARTEL, Avenue de Corzent 75, BP 511, FR - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex
- [3] Service cantonal de la protection de l'environnement, Case postale 145, CH - 2034 PESEUX.
- [4] Laboratoire Santé-Environnement-Hygiène, Av. Jean Jaurès 321, FR - 69632 LYON Cédex 7.

## ADRESSES DES AUTEURS DES RAPPORTS

|                          |                                                                                                                                                                      |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| BALVAY Gérard            | Biologiste<br>Station d'Hydrobiologie Lacustre, INRA-UMR/CARRTEL<br>Avenue de Corzent 75 - BP 511<br>FR - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex                               |
| BERSIER Yves             | Technicien<br>Laboratoire du Service de l'eau<br>Services Industriels de Genève<br>Case postale 2777<br>CH - 1211 GENÈVE 2                                           |
| CHIFFLET Pascal          | Technicien<br>Station d'Hydrobiologie Lacustre, INRA-UMR/CARRTEL<br>Avenue de Corzent 75 - BP 511<br>FR - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex                               |
| CLERC Aline              | Ingénieure<br>Secrétariat de la Commission internationale<br>pour la protection des eaux du Léman<br>Avenue de Chailly 23 - Case postale 80<br>CH - 1000 LAUSANNE 12 |
| CORVI Claude             | Chimiste<br>Service de protection de la consommation<br>Case postale 166<br>CH - 1211 GENÈVE 4                                                                       |
| DORIOZ Jean-Marcel       | Pédologue<br>Station d'Hydrobiologie Lacustre, INRA-UMR/CARRTEL<br>Avenue de Corzent 75 - BP 511<br>FR - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex                                |
| DRUART Jean-Claude       | Biologiste<br>Station d'Hydrobiologie Lacustre, INRA-UMR/CARRTEL<br>Avenue de Corzent 75 - BP 511<br>FR - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex                               |
| GERDEAUX Daniel          | Biologiste<br>Station d'Hydrobiologie Lacustre, INRA-UMR/CARRTEL<br>Avenue de Corzent 75 - BP 511<br>FR - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex                               |
| HAMELET Valérie          | Technicienne<br>Station d'Hydrobiologie Lacustre, INRA-UMR/CARRTEL<br>Avenue de Corzent 75 - BP 511<br>FR - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex                             |
| HUSTACHE Jean-Christophe | Technicien<br>Station d'Hydrobiologie Lacustre, INRA-UMR/CARRTEL<br>Avenue de Corzent 75 - BP 511<br>FR - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex                               |
| LAINE Leslie             | Technicienne<br>Station d'Hydrobiologie Lacustre, INRA-UMR/CARRTEL<br>Avenue de Corzent 75 - BP 511<br>FR - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex                             |

|                        |                                                                                                                                                                    |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| LAVIGNE Sophie         | Biologiste<br>Service cantonal de l'écologie de l'eau<br>Case postale 78<br>CH - 1211 GENÈVE 8                                                                     |
| LAZZAROTTO Jérôme      | Chimiste<br>Station d'Hydrobiologie Lacustre, INRA-UMR/CARRTEL<br>Avenue de Corzent 75 - BP 511<br>FR - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex                               |
| LEBOULANGER Christophe | Biologiste<br>Station d'Hydrobiologie Lacustre, INRA-UMR/CARRTEL<br>Avenue de Corzent 75 - BP 511<br>FR - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex                             |
| MANTEGAZZI Dominique   | Chimiste<br>Laboratoire du Service de l'eau<br>Services Industriels de Genève<br>Case postale 2777<br>CH - 1211 GENÈVE 2                                           |
| MOILLE Jean-Paul       | Technicien<br>Station d'Hydrobiologie Lacustre, INRA-UMR/CARRTEL<br>Avenue de Corzent 75 - BP 511<br>FR - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex                             |
| PASQUINI François      | Chimiste<br>Service cantonal de l'écologie de l'eau<br>17, ch. de la Verseuse - Case postale 53<br>CH - 1219 AÏRE                                                  |
| PERFETTA Jean          | Biologiste<br>Service cantonal de l'écologie de l'eau<br>Case postale 78<br>CH - 1211 GENÈVE 8                                                                     |
| QUÉTIN Philippe        | Ingénieur<br>Station d'Hydrobiologie Lacustre, INRA-UMR/CARRTEL<br>Avenue de Corzent 75 - BP 511<br>FR - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex                              |
| RAMSEIER Stéphane      | Chimiste<br>Laboratoire du Service de l'eau<br>Services Industriels de Genève<br>Case postale 2777<br>CH - 1211 GENÈVE 2                                           |
| RAPIN François         | Géologue<br>Secrétariat de la Commission internationale<br>pour la protection des eaux du Léman<br>Avenue de Chailly 23 - Case postale 80<br>CH - 1000 LAUSANNE 12 |
| STRAWCZYNSKI Andrés    | Chimiste<br>Service des eaux, sols et assainissement<br>Chemin des Boveresses 155<br>CH - 1066 EPALINGES                                                           |