

EUTROPHISATION ET POLLUTION DU LITTORAL LEMANIQUE  
EVALUEES A PARTIR DE LA COMPOSITION DE LA FAUNE BENTHIQUE

PREMIERE PARTIE

LES REGIONS AVOISINANT LES STATIONS D'EPURATION

par

Claude LANG

Barbara DOBLER-LANG

Conservation de la faune Lausanne

avec la collaboration technique de

Yvette CHEVALIER

Line CUVIT

SOMMAIRE

Avant-propos.

1. Introduction

2. Méthodes

2.1. Prélèvements et triages

2.2. Analyse biologique des résultats

2.2.1 Evaluation du degré de pollution

2.2.2 Espèces de vers caractéristiques

2.2.3 Relations entre l'état biologique et les paramètres physico-chimiques  
du sédiment

3. Résultats

3.1. Caractéristiques biologiques moyennes des régions

3.2. Zones influencées par les stations d'épuration

4. Discussion

4.1. Facteurs déterminant l'étendue de la zone influencée par une station d'épuration

4.2. Réflexions méthodologiques

4.3. Classement des stations d'épuration en fonction de leur influence sur le lac

5. Conclusion

6. Résumé

Références.

AVANT-PROPOS

Les prélèvements biologiques qui ont servi de base à cette étude ont pu être réalisés grâce à l'appui du laboratoire de limnogéologie de l'Université de Genève ( Dr J.-P. Vernet ) au cours de sa campagne 1976 " *Pollution des zones côtières du Léman par les métaux lourds* ". Nous avons eu la possibilité d'utiliser les prélèvements de cette campagne et de nous servir de certains des résultats obtenus, en particulier en ce qui concerne la localisation des prélèvements. D'autre part, grâce à cette collaboration, nous disposons d'analyses chimiques et biologiques effectuées sur les mêmes prélèvements. Par la suite, il sera possible de comparer ces deux approches, afin de mieux cerner les phénomènes d'eutrophisation et de pollution dans le Léman.

Afin d'éviter certains des malentendus que le rapport de la campagne 1974, consacré à l'influence de la station d'épuration de Vidy, a suscités, nous tenons à préciser que lorsque nous parlons de pollution induite par une station d'épuration, nous faisons allusion à la pollution résiduelle qui subsiste après le traitement quelle qu'en soit l'efficacité. De plus, il est évident que l'importance de la pollution résiduelle croît avec celle des installations. Nous ne remettons pas en cause l'efficacité des stations d'épuration comme moyen de lutte contre les pollutions, mais nous voulons montrer qu'une étude de leurs effets sur le récepteur donne de précieuses indications quant à l'évolution du lac.

## 1. INTRODUCTION

Dans les lacs, les apports en matières organiques s'accumulant à la surface du sédiment déterminent dans une grande mesure la structure des communautés animales du sédiment. Ces apports peuvent avoir deux origines :

- Ils peuvent être autochtones, c'est-à-dire produits à l'intérieur même du lac, par le phytoplancton ou par les macrophytes et le périphyton du littoral.
- Ils peuvent venir de l'extérieur du lac, par les rivières, les égouts ou les effluents des stations d'épuration. Dans ce cas, ils sont appelés allochtones.

Les apports en matières organiques au niveau du sédiment déterminent à la fois la concentration en oxygène au voisinage de l'interface et la quantité de nourriture disponible pour la faune de fond ( faune benthique ou benthos ). L'augmentation de la " pluie " de matières organiques dans une région donnée accroît la nourriture du benthos, mais diminue la concentration en oxygène. Ces mécanismes antagonistes altèrent la structure des communautés qui reflètent ainsi les modifications de l'état trophique du lac. En ce qui concerne l'état biologique du sédiment, les trois stades trophiques classiques, à savoir oligotrophe, mésotrophe et eutrophe, coexistent dans le Léman. Les apports organiques allochtones exercent une action très forte et très localisée; ils déterminent des pollutions, c'est-à-dire un état s'écartant de l'état normal du lac. En revanche, les apports organiques autochtones ont une influence beaucoup plus générale et reflètent davantage l'évolution globale du lac. Il semble cependant exister des différences régionales dans le Léman du point de vue accumulation des apports autochtones.

La présente étude a pour but de définir l'état trophique du littoral lémanique ainsi que de mettre en évidence les apports organiques allochtones, c'est-à-dire les sources de pollution, qui modifient cette région. Le littoral englobe les zones comprises entre le rivage et la profondeur de 50 mètres, limite supérieure de la région profonde. On y distingue la plate-forme littorale ou " beine ", la zone de rupture de pente ou " mont " entre les isobathes 10 et 25 mètres et le sublittoral de 25 à 50 mètres de fond. Les limites précises de ces subdivisions sont quelque peu arbitraires, mais les subdivisions elles-mêmes correspondent à une réalité écologique.

Pour des raisons d'ordre pratique et scientifiques évoquées dans l'avant-propos, l'étude est réalisée en deux étapes. La première partie, présentée ci-après, est consacrée à l'influence des stations d'épuration ( STEP ) sur le lac. Les STEP constituent en effet et constitueront de plus en plus les principales sources de matières arrivant au lac. Dans la deuxième étape, l'ensemble du littoral a été inventorié et les résultats obtenus seront présentés avec les rapports de la campagne 1978. Une méthode biologique de détection des pollutions a été utilisée au cours de la campagne 1976.

La structure des communautés animales qui colonisent le sédiment reflète l'évolution trophique générale du lac ainsi que les pollutions locales. Parmi les animaux collectés, les vers de la classe des Oligochètes ( famille des Tubificidés et des Lumbriculidés ) constituent d'excellents indicateurs de pollution et présentent donc un intérêt pratique évident. On les rencontre en effet dans tous les lieux et à toutes les profondeurs dans le Léman. L'abondance relative des espèces présentes est en relation avec les apports de matières organiques au niveau du sédiment ainsi qu'avec les conditions d'oxygénation régnant au voisinage de l'interface. Une étude précédente a montré que les espèces de vers succèdent les unes aux autres dans le gradient de pollution déterminé par la STEP de Vidy. Dans d'autres régions du globe, d'autres auteurs ont observé des successions analogues d'espèces en fonction de la pollution. En combinant ces divers résultats et en tenant compte notamment de l'abondance relative des espèces caractéristiques des stades oligotrophe, mésotrophe et eutrophe, il devient possible de classer chaque point de prélèvement selon le niveau de pollution auquel il appartient. La pollution est définie par rapport à l'état trophique où devrait se trouver le sédiment en l'absence d'un déséquilibre local au niveau de l'accumulation de matière organique. Dans le cas de cette étude, le stade mésotrophe est choisi comme point de référence.

## 2. METHODES

### 2.1. Prélèvements et triages

Les prélèvements ont été effectués le plus souvent à partir de la surface, au moyen d'une benne Shipek, quelquefois en plongée. Dans les deux cas, un tube carottier en PVC de 20 cm de longueur, couvrant une surface de 15 cm<sup>2</sup> est enfoncé dans le sédiment jusqu'à environ 10 cm de profondeur. L'ouverture supérieure, puis inférieure du tube est obturée au moyen de bouchons en polyéthylène. De la formaline est ajoutée à l'eau surnageante de manière que sa concentration y soit de 5 %.

Au laboratoire, le sédiment est passé sur un tamis dont l'ouverture de maille est de 0.2 mm. Le refus du tamis est stocké dans un bocal en verre qui est rempli de formol 5 %. Avant le triage des animaux, du Rose Bengale ( environ 1 g/l ) est ajouté à l'eau surnageante. Après ce traitement, les vers colorés en rose deviennent bien visibles. Le contenu du bocal est soumis à un tamisage rapide au travers d'une maille de 0.5 mm. De cette façon, la quantité de particules à examiner diminue fortement sans que le nombre de vers décroisse de façon appréciable. Ceux-ci deviennent en effet rigides sous l'action prolongée du formol et, de ce fait, ne passent pas au travers des mailles de 0.5 mm, si le tamisage est de courte durée. Le triage s'effectue à l'oeil nu dans une cuvette à fond blanc. Des triages de contrôle sous la loupe binoculaire ont montré que le nombre de vers non récoltés par cette méthode restait faible, tandis que le temps de triage diminuait considérablement.

Les vers ainsi séparés du sédiment sont comptés sous la loupe binoculaire en ne tenant compte que des fragments céphaliques. Dans le formol, ils ont en effet tendance à se fragmenter. Lorsque le nombre des vers ainsi isolés ne dépasse pas 50, tous les individus sont montés entre lame et lamelle dans de l'Hydramount de Gurr. Si l'effectif rencontré est plus élevé, seul un sous-échantillon de 50 vers pris au hasard est monté. Les vers sont ensuite déterminés sous le microscope jusqu'au niveau de l'espèce ou du genre. L'abondance des différentes espèces est ainsi calculée. Par contre, les larves de chironomides sont considérées en bloc.

Les données quantitatives obtenues au cours de cette étude ont été analysées au moyen de l'ordinateur de l'EPFL ( Ecole polytechnique fédérale de Lausanne ). Les programmes SPSS, BMDP et POLYFTN ont été utilisés.

### 2.2. Analyse biologique des résultats

En 1976, 170 prélèvements biologiques ont été effectués dans les zones avoisinant 12 stations d'épuration dont les caractéristiques sont indiquées dans le tableau 1. Le nombre des prélèvements biologiques ( 170 ) est nettement inférieur à celui des prélèvements de sédiment destinés à l'analyse des métaux lourds ( 269 ). Cette différence s'explique ainsi : pour que les analyses biologiques soient représentatives, le tube carottier doit être enfoncé au travers d'un sédiment dont la stratification n'est pas altérée. Au cours de la campagne 1976, 4522 vers ont été comptés et déterminés. L'effectif total se répartit entre 19 espèces et deux unités systématiques regroupant plusieurs espèces dont les individus immatures ne sont pas discernables les uns des autres ( tab. 2 ). L'unité systématique *Potamotheix spec.* renferme tous les vers dont les soies capillaires et les crochets sont semblables à ceux de *Potamotheix hammoniensis*. Les vers immatures dont les crochets ressemblent à ceux de *Limnodrilus hoffmeisteri* sont regroupés dans le taxon *Limnodrilus spec.* Les plus abondantes des espèces qui peuvent être trouvées dans ces deux catégories fréquentent des stations soumises à des pollutions, ce qui facilite l'interprétation des résultats.

#### 2.2.1. Evaluation du degré de pollution

L'évaluation du degré de pollution d'un prélèvement à partir de la faune présente peut être réalisée de plusieurs façons.

- a) Un indice d'oligotrophie peut être calculé en additionnant pour chaque prélèvement l'abondance relative des espèces de vers caractéristiques des milieux oligotrophes. Sa valeur variera entre 0 et 100.
- b) Il est également possible de calculer un indice de pollution en additionnant pour chaque prélèvement l'abondance relative des espèces caractéristiques des milieux pollués. Sa valeur sera également comprise entre 0 et 100. Les espèces de vers utilisées pour le calcul de ces deux indices sont indiquées dans le tableau 2. Un certain nombre d'espèces de vers ne peuvent être classés ni dans la catégorie caractéristique des zones polluées, ni dans celle des zones non polluées.

Pour cette raison, il est nécessaire d'utiliser deux indices. En effet, le complément à 100 de l'indice de pollution ne donne la valeur de l'indice d'oligotrophie qu'en l'absence de ces espèces non classées.

- c) Les fluctuations de la diversité spécifique donnent également des indications quant au degré de pollution d'un prélèvement. Lorsque la pollution croît, la diversité spécifique diminue. L'indice de Simpson permet d'estimer la diversité spécifique à partir de l'abondance relative des espèces présentes dans chaque prélèvement.

$$\text{Diversité spécifique} = \frac{1}{\sum p_i^2} \times 10^2$$

$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

$n_i$  = abondance de l'espèce  $i$

$N$  = nombre total de vers récoltés

Les valeurs que nous avons obtenues varient entre 100, diversité minimale et 460, qui correspond à la diversité maximale enregistrée au cours de ces prélèvements. Une autre façon d'exprimer la diversité spécifique consiste simplement à compter le nombre d'espèces présentes dans chaque prélèvement.

- d) Le nombre total de vers présents dans un prélèvement indique également son état pollutif. La densité des vers, faible à proximité d'une importante source de pollution, augmente fortement lorsqu'on s'en éloigne, puis diminue à nouveau. Ce critère n'est donc pas facile à interpréter, sauf dans le cas d'un gradient de pollution bien marqué. De plus, la densité des vers diminuant en fonction de la profondeur, l'action de ce facteur se superpose à celle de la pollution. Pour cette raison, dans cette étude, seules de fortes densités de vers, c'est-à-dire plus de 50 individus par 15 cm<sup>2</sup>, peuvent être considérées comme indicatrices de pollution.
- e) Le nombre de larves de chironomides et le rapport chironomides / vers sont également délicats à interpréter. L'augmentation de la pollution et celle de la profondeur font diminuer la densité des chironomides et par conséquent le rapport chironomides / vers. D'une manière générale, le nombre des chironomides diminue par rapport à celui des vers lorsque la pollution augmente.

#### 2.2.2. Espèces de vers caractéristiques ( tab. 2 )

Le choix des espèces de vers caractéristiques des zones polluées et des zones non polluées utilisées pour le calcul des indices de pollution et d'oligotrophie a été effectué de façon objective à partir des prélèvements réalisés en 1973 et 1974 dans la région de la station d'épuration de Vidy ainsi qu'à partir des prélèvements effectués en 1976 par le CRG ( Centre de Recherches géodynamiques ) de Thonon ( rapport B. Chassaing 1976 ) dans 12 stations de la Commission franco-suisse.

En ce qui concerne Vidy, les deux ensembles de stations polluées et non polluées définis a priori à partir de l'abondance relative des différentes espèces de vers ont été soumis à l'analyse discriminante multivariée. Les résultats de cette analyse montrent que les deux ensembles, stations polluées d'une part et non polluées d'autre part, définis a priori étaient statistiquement différents l'un de l'autre. La différence observée en ce qui concerne les paramètres biologiques ( abondance relative des espèces de vers ) se retrouve au niveau de la chimie de l'eau interstitielle et du sédiment.

Dans le cas des prélèvements 1976 évoqués plus haut, l'analyse des résultats a été effectuée au moyen de l'analyse factorielle des correspondances qui a permis de mettre en évidence quatre types de communautés de vers dans le Léman. Chacune de ces communautés se caractérise par l'abondance relative d'une ou de plusieurs espèces qui contribuent de façon significative à la construction d'un des facteurs. La communauté des zones les plus oligotrophes est définie à partir de l'abondance relative du Lumbriculidé *Stygodrilus heringianus* tandis que *Potamothrix vejdvovskij* occupe des zones oligo-mésotrophes. Dans les zones eutrophes, on peut distinguer deux types de communautés, la communauté *Tubifex tubifex* et celle à *Peloscoclex ferox* accompagné de *Potamothrix hammoniensis*.

Les observations ci-dessus sont valables pour les zones situées entre 30 et 300 mètres de profondeur. Dans les profondeurs inférieures, certaines des espèces caractéristiques des différents degrés de trophie peuvent être remplacées par d'autres. C'est ainsi que dans les profondeurs inférieures à 20 mètres *Potamothrix vejsovskyi* est supplanté par *Aulodrilus plurisetus*. D'une manière générale, les observations réalisées dans le Léman confirment les résultats que d'autres auteurs, en particulier Brinkhurst et Milbrink, ont obtenus en Europe et en Amérique du Nord. Enfin, lors des prélèvements CRG 1976, l'analyse des correspondances a permis également de tester l'influence de la saison et de la taille de l'échantillon sur le classement des prélèvements dans les catégories oligotrophe, mésotrophe ou eutrophe. La variation saisonnière des populations de vers ne modifie pas le classement des prélèvements tandis que la taille de l'échantillon paraît bien adaptée au but recherché : mettre en évidence des différences dans le degré de trophie du sédiment.

### 2.2.3. Relations entre l'état biologique et les paramètres physico-chimiques du sédiment ( tab. 3. )

Les indices d'oligotrophie et de pollution décrits ci-dessus nous donnent une évaluation globale de l'état biologique du sédiment. Afin de comparer la concordance existant entre les indications obtenues à partir de la chimie et celles provenant de la biologie, les coefficients de corrélation de Pearson entre les indices d'oligotrophie, de pollution et divers paramètres physico-chimiques du sédiment ont été calculés. Pour ce faire, les analyses chimiques réalisées par le laboratoire de Limnologie de l'Université de Genève ont pu être utilisées. Les résultats statistiques présentés dans le tableau 3 montrent que les deux indices biologiques sont corrélés avec de nombreux paramètres physico-chimiques indicateurs de pollution. L'utilisation du coefficient de corrélation de rang de Spearman conduit à des résultats analogues. La méthode biologique choisie se voit ainsi confirmée à partir d'une autre approche.

Il faut cependant remarquer que les communautés de vers intègrent l'action de nombreux paramètres physico-chimiques de l'environnement. De ce fait, il ne faut pas s'attendre à des relations simples entre la communauté benthique présente et tel ou tel paramètre physico-chimique. Ceci d'autant plus que, par exemple, l'action toxique des métaux lourds peut être stimulée ou inhibée par des effets synergiques. En dernière analyse, il faut avoir à l'esprit que le concept de pollution n'a qu'une valeur comparative. En effet, une pollution se définit toujours par rapport à un état normal qui ne peut être appréhendé que d'une façon globale, holistique.

## 3. RESULTATS

L'analyse de 170 prélèvements biologiques a été effectuée à deux niveaux différents. Dans un premier temps, une analyse globale des prélèvements dans la région entourant chaque STEP a été réalisée. Il est ainsi possible d'estimer de façon générale le niveau de pollution de chacune de ces régions. La deuxième étape de l'analyse consiste à examiner dans chaque région les prélèvements un par un, afin de séparer l'influence de la STEP concernée de celle de la région.

### 3.1. Caractéristiques biologiques moyennes des régions ( tab. 4. )

Les valeurs moyennes de 8 caractéristiques biologiques sont utilisées afin de différencier les 12 régions étudiées. Ces moyennes sont calculées à partir des prélèvements réalisés dans chaque région. En raison des difficultés dans les techniques de prélèvement, le nombre d'échantillons n'est pas toujours proportionnel à l'importance de la STEP étudiée. Parmi les variables utilisés, l'indice moyen d'oligotrophie contribue le mieux à différencier les régions les unes des autres :

- Dans 5 régions, l'indice moyen d'oligotrophie est inférieur à 3. Le nombre de prélèvements réalisés et leur dispersion permet d'affirmer que le golfe de Vidy constitue la région la plus polluée. Les régions du Vengeron, de Nyon et de Villeneuve sont assez fortement polluées. Le nombre restreint de prélèvements réalisés devant le Nant d'Aisy rend l'interprétation régionale hasardeuse.
- Les régions de Morges, de Montreux et de Thonon ne sont polluées que de façon modérée.
- Dans les régions de Rolle, de Pully, de Lutry et de Vevey, la situation paraît bonne.

Ces conclusions basées sur une seule variable biologique appellent quelques remarques:

- Du point de vue du nombre de vers présents dans le sédiment, l'embouchure de la Drance ( STEP de Thonon ) se distingue par la densité élevée enregistrée. Ces conditions particulières suggèrent un fort apport de matières organiques dans un milieu bien oxygéné. Dans la région du Vengeron et du Nant d'Aisy, les densités observées sont sensiblement inférieures à celles enregistrées dans les autres stations. Dans une étude générale du Léman, nous avons observé une décroissance analogue de la densité des vers entre le Grand Lac et le Petit Lac. Cette évolution peut être une diminution des apports organiques s'accumulant au niveau du fond entre ces deux bassins, mais cette hypothèse reste à démontrer.
- La diversité spécifique, qui suit dans une certaine mesure les fluctuations de l'indice d'oligotrophie, est maximale à Lutry.
- En ce qui concerne les larves de Chironomides, il faut remarquer la forte baisse de densité enregistrée entre Morges et Vidy.

Afin d'essayer de comparer de façon globale les caractéristiques biologiques moyennes dans les différentes régions, nous avons remplacé les valeurs attribuées à chacune d'elle par un rang. Afin que les résultats obtenus soient comparables, il faut distinguer deux types de caractéristiques biologiques :

- a) Celles dont les valeurs augmentent avec la pollution, comme c'est le cas pour le nombre total des vers et l'indice de pollution. Le rang 1 sera attribué à la valeur la plus basse, le rang 12 à la plus élevée.
- b) Celles dont les valeurs diminuent lorsque la pollution augmente, comme c'est le cas pour toutes les autres caractéristiques du tableau 4. Dans ce cas, le rang 1 sera attribué à la plus haute valeur observée, le rang 12 à la plus basse.

En procédant ainsi, les rangs bas correspondent à des pollutions faibles. En additionnant les rangs attribués aux caractéristiques biologiques, il est possible d'attribuer un score pollutif à chaque station. Le degré de pollution de chaque région augmentera avec les valeurs du score pollutif. Sur le tableau 5, les régions sont classées en fonction des valeurs décroissantes du score pollutif. Ce classement est basé sur les valeurs moyennes de 8 caractéristiques biologiques qui intègrent un grand nombre d'informations écologiques.

### 3.2. Zones influencées par les stations d'épuration

Afin de différencier l'action polluante de chaque STEP de l'état global de la région qui l'entoure, il est nécessaire de considérer la répartition des prélèvements et la valeur des diverses caractéristiques biologiques dans chacun d'eaux. Pour ce faire, une carte indiquant le localisation des prélèvements et la valeur de certaines caractéristiques biologiques a été établie pour chaque région. Afin de simplifier l'interprétation des résultats, les prélèvements ont été répartis en 4 catégories représentées chacune par un symbole différent.

- Les prélèvements qualifiés d'oligotrophes sont représentés par un cercle. Dans cette étude, il s'agit de prélèvements où les espèces oligotrophes, en particulier *Potamothena vejvodskyi*, représentent plus de 4 % de l'effectif global.
- Les prélèvements qualifiés d' "eutrophes " sont représentés par un carré. La densité des vers y est élevée ( 50 individus par 15 cm<sup>2</sup> ou plus ). Les espèces oligotrophes sont absentes ou très peu abondantes.
- Les prélèvements représentés par un triangle peuvent être considérés comme pollués, c'est-à-dire que les vers présents appartiennent tous à des espèces caractéristiques des zones eutrophes, mais la densité observée est faible, ce qui empêche une interprétation directe des résultats. En effet, les espèces dites caractéristiques des zones eutrophes sont également présentes dans les zones oligotrophes, mais leur abondance relative est réduite. De ce fait, un prélèvement où la densité des vers est faible et qui ne renferme que les espèces caractéristiques des zones eutrophes peut s'interpréter de deux façons : soit il s'agit d'une zone fortement polluée où la densité des vers diminue du fait des conditions extrêmes du milieu, soit il s'agit d'un prélèvement qui ne donne pas une représentation exacte de la communauté. Un tel fait peut être expliqué de deux manières, il s'agit soit d'un prélèvement défectueux sur le plan technique, soit la densité des vers est trop faible dans la région considérée indépendamment de toute pollution. Pour trancher entre ces deux interprétations, il faut examiner les prélèvements environnants. Une série de prélèvements du type décrit ci-dessus entourant une source de pollution doit être considérée comme indicatrice de fortes pollutions.

Une telle situation se rencontre typiquement à Vidy.

- La dernière catégorie de prélèvements est représentée par un triangle renversé. Elle comprend des prélèvements qui renferment une proportion appréciable d'espèces dont la signification pollutive n'est pas claire. Cependant les observations d'autres auteurs, la localisation des prélèvements ainsi que certains critères chimiques permettent d'attribuer à ces espèces une signification eutrophe-mésotrophe.

Au-dessus de ces quatre symboles, trois valeurs numériques sont inscrites sur les graphiques qui montrent la localisation des prélèvements. De bas en haut, nous avons la valeur de l'indice de pollution, le nombre total de vers enfin celui des larves de chironomides. Afin de classer les prélèvements dans les quatre catégories mentionnées ci-dessus, les autres caractéristiques biologiques mentionnés précédemment ont également été utilisées. Elles ne sont pas reportées sur les cartes qui deviendraient alors inintelligibles.

#### LEGENDE DES FIGURES 1 A 12

- prélèvements oligotrophes
- prélèvements eutrophes
- ▲ prélèvements eutrophes ou non représentatifs ( voir texte )
- ▼ prélèvements mésotrophes
- zone polluée
- effluent de STEP ou source de pollution
- 2 nombre total de chironomides
- 25 nombre total de vers
- 80 indice de pollution
- symbole indiquant l'état trophique du prélèvement

Sur la base de ce qui précède, nous pouvons tirer les conclusions suivantes en ce qui concerne chaque station:

#### Vengeron ( Fig. 1 )

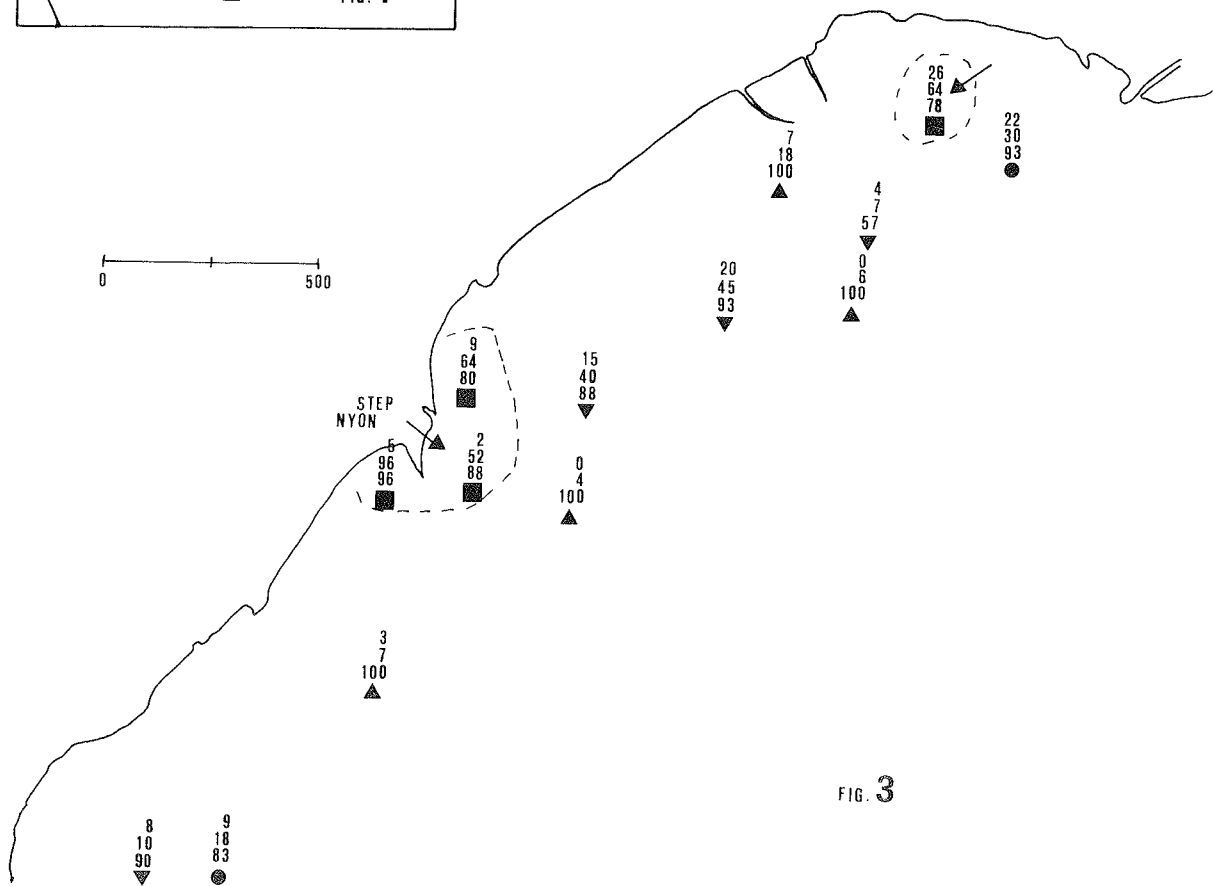
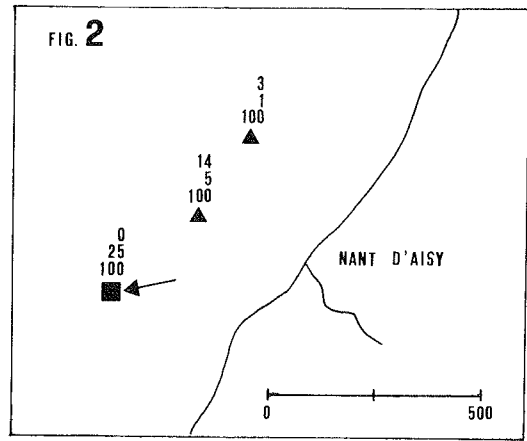
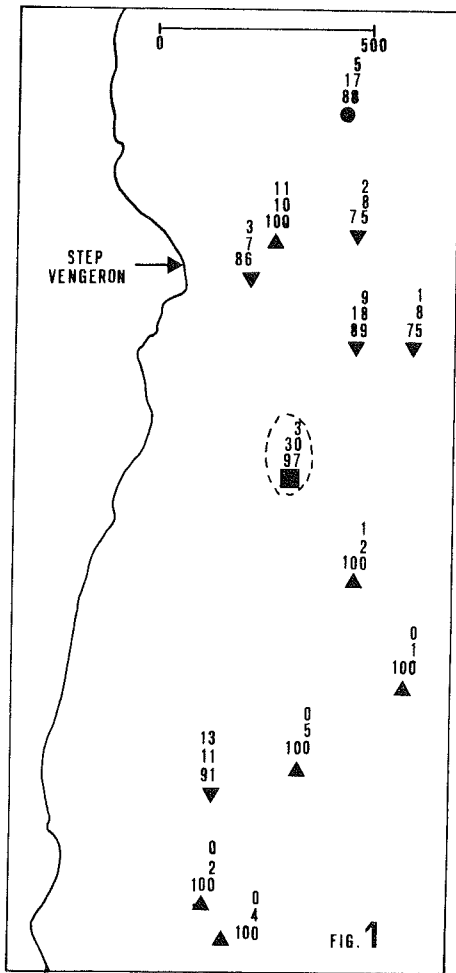
Les points de prélèvement situés à proximité de l'effluent ne semblent pas influencés par les rejets. Un seul prélèvement localisé au sud de la STEP possède la faune typique des régions eutrophes. Tous les prélèvements dont les indices de pollution sont élevés ne contiennent que très peu de vers, tandis que les larves chironomides y sont en général relativement abondantes. Pour cette raison, ces prélèvements semblent plutôt être la conséquence d'un milieu relativement peu influencé que d'une forte pollution. Cependant il subsiste une incertitude quant à l'influence de cette STEP.

#### Nant d'Aisy ( Fig. 2 )

L'échantillonnage biologique est restreint, car le nombre de bennes remontées intactes était peu élevé. Un seul point semble soumis à l'influence de la STEP. Comme pour le Vengeron, les indices de pollution élevés observés dans les deux autres points semblent être la conséquence du petit nombre de vers récoltés, plutôt que d'une pollution. Cette interprétation favorable est renforcée par l'abondance des larves de chironomides comparée à celle des vers.

#### Nyon ( Fig. 3 )

La STEP de Nyon modifie la faune de fond sur un rayon de 200 m autour de l'effluent. Les densités de vers sont élevées, tandis que la proportion des larves de chironomides reste faible dans la région polluée. Une deuxième source de pollution apparaît au voisinage de la Promenthouse.





Rolle ( Fig. 4 )

Trois prélèvements au voisinage de la STEP renferment une faune anormale. Cependant, d'autres sources de pollution existent dans cette région et la STEP n'est sans doute pas la seule en cause. Cependant en regard de sa petite taille, son influence est sensible. Toute la zone du large renferme des communautés oligotrophes.

Morges ( Fig. 5 )

Un seul prélèvement est influencé fortement par la STEP de Morges. Deux autres prélèvements pollués sont situés à proximité de la Morges et de la Venoge. D'une manière générale, la situation dans la baie de Morges n'est pas excellente du point de vue de la pollution, particulièrement dans les petites profondeurs. Cependant la STEP n'exerce pas une influence prépondérante dans cette région.

Vidy ( Fig. 6 )

Comparée à celle des STEP précédentes, l'influence de Vidy est évidente sur une distance considérable. Le seul prélèvement " oligotrophe " identifié dans cette région est situé à l'est du point de rejet. Par sa localisation, il correspond à la zone oligotrophe observée lors de l'étude biologique faite en 1974. Cette zone sépareit les pollutions venant du déversoir d'orage du Flon de celles provenant de la STEP elle-même. A en juger par la carte réalisée en 1976, la zone " oligotrophe " semble avoir diminué. Une telle diminution peut être la conséquence de l'accroissement de la capacité de la station qui a passé de 220'000 équivalents-habitants en 1973 à 330'000.

Les pollutions sont particulièrement visibles dans la zone profonde. Dans toute la région de Vidy, les larves de chironomides sont très peu abondantes en comparaison de ce qui a été observé à Morges. La densité des vers est faible à proximité du point de rejet, pour augmenter par la suite. Ces observations révèlent une pollution très élevée. En conclusion, nous pouvons affirmer que la taille considérable de la STEP de Vidy a pour conséquence une pollution très importante du sédiment avoisinant. Le déversoir d'orage du Flon exerce lui aussi une influence défavorable.

Pully ( Fig. 7 )

La carte des prélèvements montre clairement l'influence de la STEP mêlée à celle de la Paudèze où elle se déverse. A l'est, l'action pollutive d'un déversoir d'orage est visible ainsi que celle de la Lutrive. Cependant les zones influencées sont relativement restreintes et elles ne s'étendent pas vers la profondeur. Il convient cependant de noter quelques particularités de cette région susceptibles de modifier les résultats.

La dispersion des effluents de la STEP est influencée par les variations de débit de la Paudèze et par les particularités du relief sous-lacustre. Un canyon sous-lacustre s'ouvre devant l'embouchure de la Paudèze. De ce fait, les pollutions ont tendance à s'y concentrer et à couler vers la profondeur. D'autres canyons analogues existent à l'est de la Paudèze. Sur les " crêtes " séparant ces canyons les uns des autres vit la faune typique des zones oligotrophes, tandis que le fond des canyons, où s'accumule la matière organique, est colonisé par des communautés appartenant aux régions eutrophes. Par conséquent, la localisation du point de prélèvement peut fortement modifier l'appréciation que l'on porte sur l'état pollutif de la région.

Lutry ( Fig. 8 )

Les rejets de la STEP de Lutry se déversent dans le lac par l'intermédiaire d'une conduite qui s'ouvre au bord du " mont " à une profondeur d'une dizaine de mètres. La pente du fond, très forte à cet endroit, favorise la dispersion des pollutions en direction de la profondeur. Cependant un seul prélèvement est influencé défavorablement par les rejets de la STEP, tandis que les conditions semblent excellentes dans les autres prélèvements. La STEP de Lutry n'exerce donc qu'une influence restreinte dans une zone dont l'état est très satisfaisant.

Vevey ( Fig. 9 )

Dans la région de Vevey, la pente du fond très accentuée a rendu difficile la prise d'échantillons biologiques de bonne qualité. Aucun des prélèvements pris dans l'axe de déversement de la STEP n'a pu être retenu pour les analyses biologiques. Il n'est donc pas possible de tirer des conclusions précises quant à l'influence de la STEP de Vevey sur le lac. Cependant les prélèvements effectués de part et d'autre de l'axe de déversement présentent une faune normale du point de vue pollution. Il est pourtant possible que la forte pente du fond empêche la sédimentation de la matière organique et que les pollutions se situent plus en profondeur.

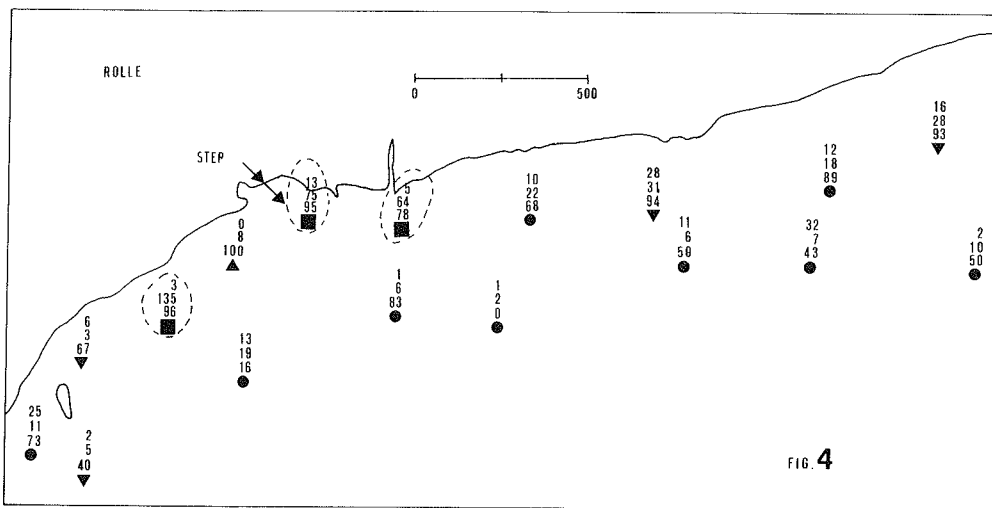


FIG. 4

FIG 5

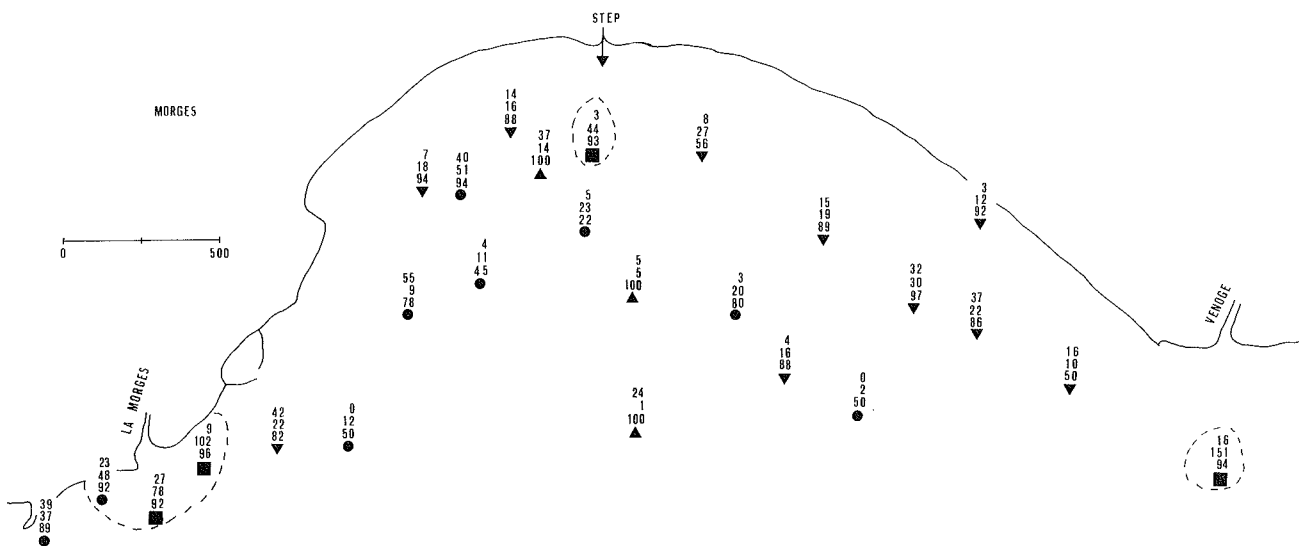
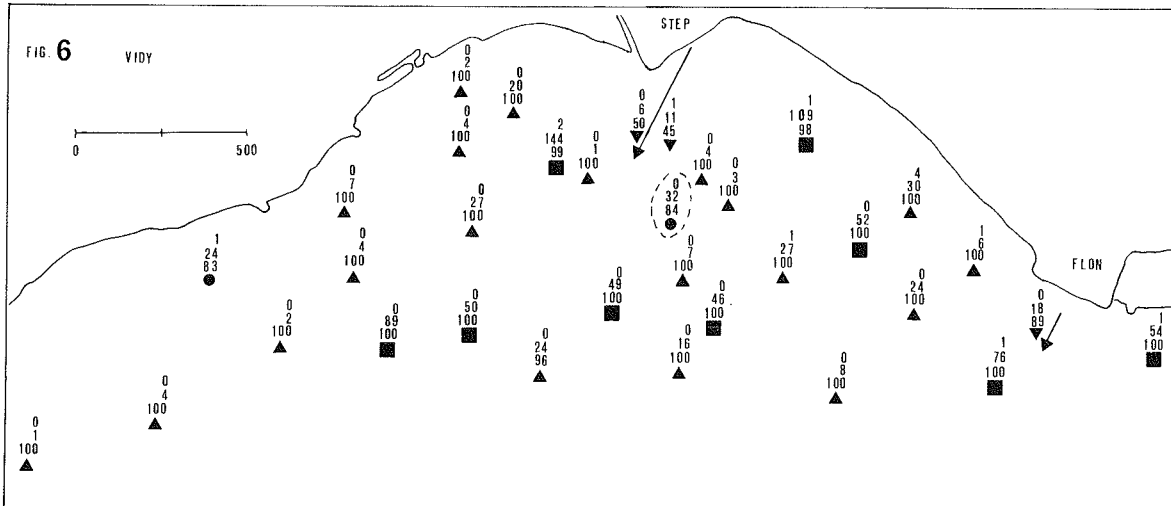
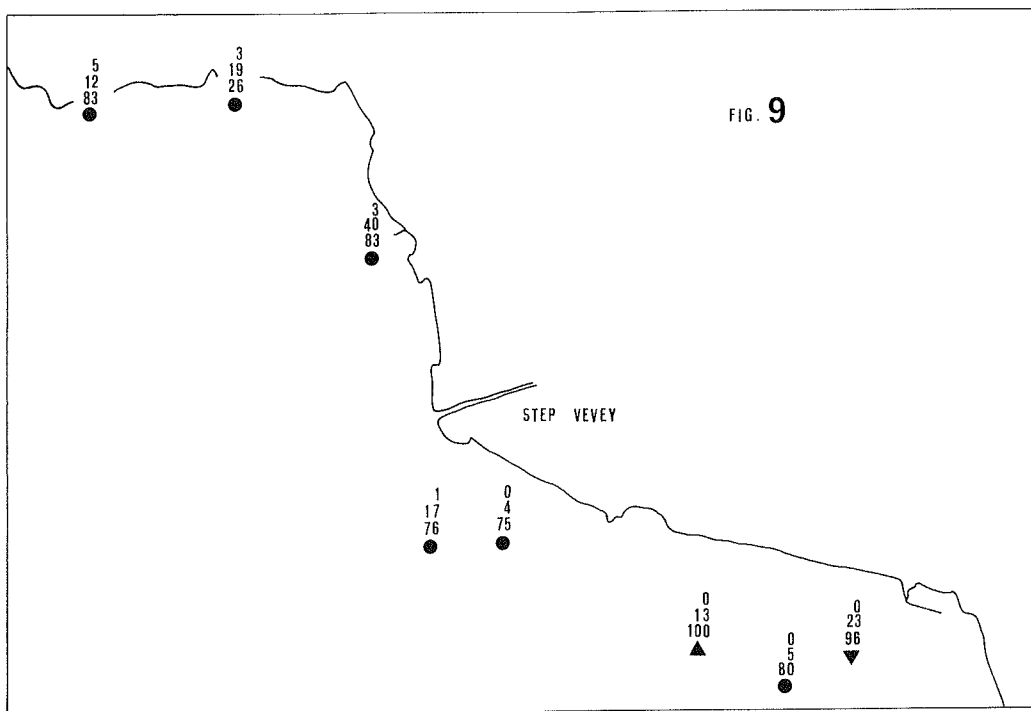
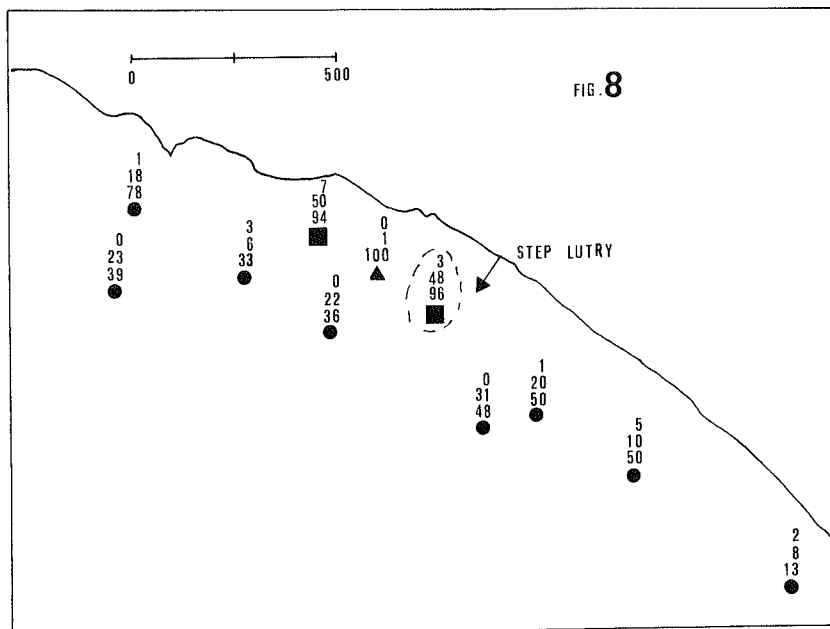
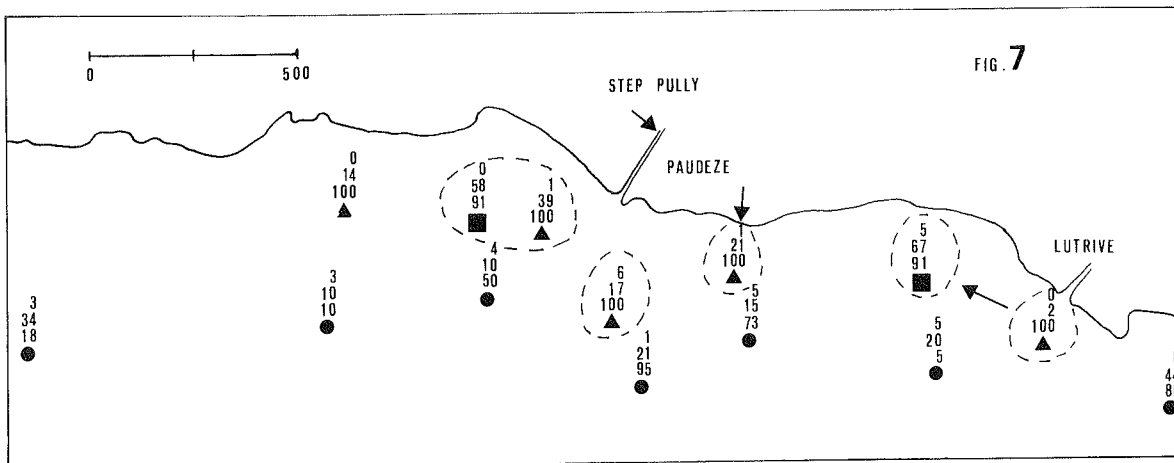
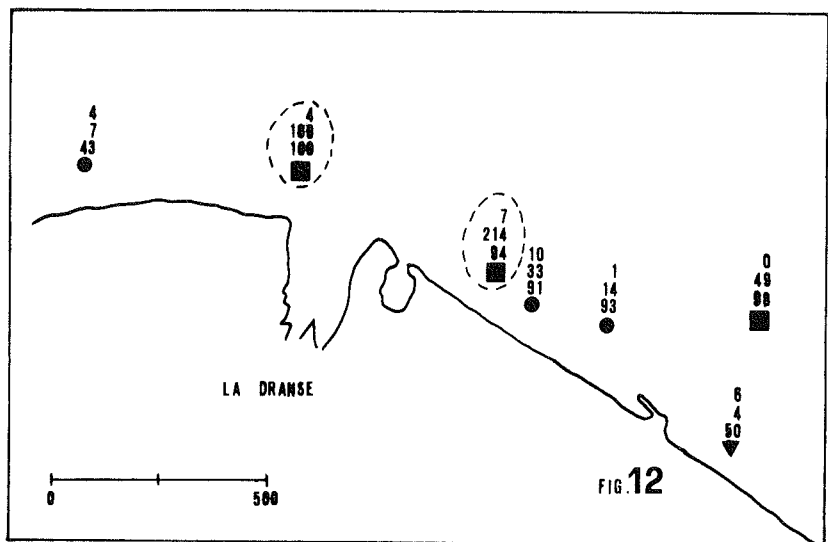
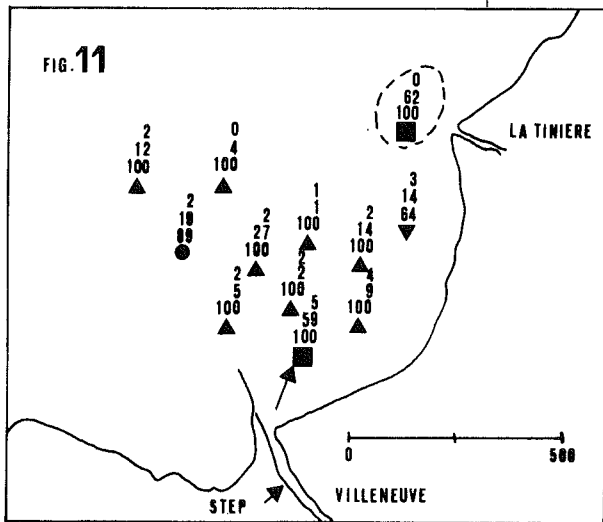
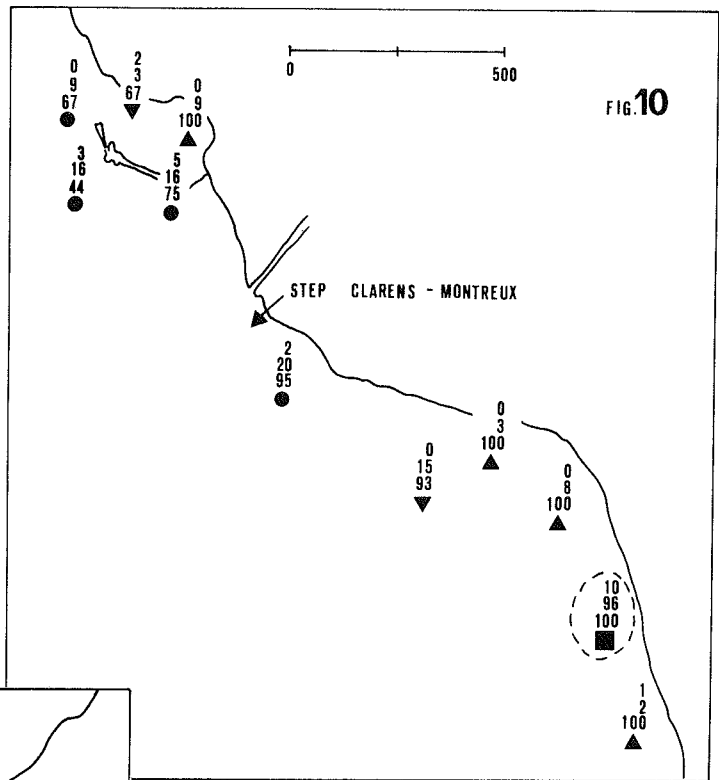


FIG. 6







Clarens-Montreux ( Fig. 10 )

Les remarques faites à propos de Vevey restent valables en ce qui concerne cette STEP. La pente du fond n'a pas permis de prendre les échantillons nécessaires pour une évaluation complète de la situation. Tous les prélèvements situés au sud-est des rejets sont pollués; on ne peut toutefois pas exclure l'existence d'une autre source de pollution. De toute façon, cette région présente une situation anormale.

Villeneuve ( Fig. 11 )

La STEP de Villeneuve se déverse dans l'Eau Froide avant de parvenir au lac. De ce fait, les rejets sont dilués. Cependant une zone polluée apparaît nettement devant l'embouchure de l'Eau Froide. Une autre pollution provient de la Tinière. Toute la région semble influencée défavorablement sans que l'on puisse démêler exactement l'action des différents facteurs concernés.

Thonon ( Fig. 12 )

Les rejets de la STEP de Thonon sont considérablement dilués par les eaux de la Drance avant d'arriver au lac, ce qui complique l'interprétation des résultats. Cependant, les densités de vers très élevées, qui ont été observées, indiquent de massifs apports organiques dans le lac.

4. DISCUSSION4.1. Facteurs déterminant l'étendue de la zone influencée par une STEP

Les STEP examinées dans cette étude diffèrent beaucoup quant à l'étendue de la zone influencée. Il est intéressant d'examiner quelques-uns des facteurs qui peuvent expliquer ces différences :

- Le nombre d'équivalents-habitants et l'efficacité du traitement devraient de toute évidence influencer directement l'étendue de la zone polluée. Cette relation est évidente en ce qui concerne Vidy, mais, dans le cas des autres STEP, elle semble masquée par d'autres facteurs.
- Parmi ces facteurs, la localisation du point de déversement joue un rôle important. Au cours de cette étude, quatre types de déversement ont été rencontrés. Déversement dans une rivière qui va au lac, déversement sur le rivage du lac, déversement sur la plate-forme littorale et déversement au bord du " mont ". C'est ce quatrième type de déversement qui contribue le mieux à créer un gradient de pollution distinct. Dans le cas des déversements effectués sur la plate-forme littorale, la zone influencée peut changer d'emplacement sous l'action des courants. Les effluents aboutissant dans les rivières sont les plus difficiles à suivre du point de vue de la pollution. Les phénomènes de dilution et les canyons que le rivièrre engendre dans certains cas modifient la dispersion des eaux usées.
- La pente du fond joue également un rôle important dans la dispersion des pollutions. Lorsque la pente est forte, les pollutions coulent vers la profondeur.

4.2. Réflexions méthodologiques

Le plan d'échantillonnage choisi et le type de prélèvement adopté n'ont pas été prévus pour une étude biologique de la faune benthique, mais pour une analyse des métaux lourds dans le sédiment. Nous avons cependant utilisé cette campagne de prélèvements pour des raisons à la fois logistiques et scientifiques.

- Logistiques, car nous pouvions utiliser le bateau et profiter de la compétence de l'équipe du laboratoire de Géolimnologie de Genève.
- Scientifiques, car nous pouvions ainsi mettre en rapport les résultats chimiques et biologiques.

Ces avantages évidents ont été contrebalancés par quelques inconvénients :

- La benne Shipek n'est pas l'appareil le plus favorable pour les prélèvements biologiques. Sur les 260 prélèvements réalisés, nous n'avons pu en conserver que 170. Des prélèvements intéressants de par leur localisation ont dû être éliminés, car leur stratification était trop bouleversée, ceci en particulier devant Vevey et Montreux.

- La répartition des prélèvements entre les différentes tranches de profondeur a été faite de façon très différente selon les stations et à l'intérieur même des stations. La technique des " transects " perpendiculaires à la rive où les prélèvements sont effectués à profondeur constante dans chaque " transect " ( 10, 25 et 40 mètres par exemple ) eût été préférable. Une technique semblable a d'ailleurs été utilisée en 1977 pour la carte de l'ensemble du littoral lémanique.
- En toute logique, il aurait été préférable, du point de vue biologique, de commencer par la carte générale du littoral, ceci afin de pouvoir définir avec plus de précision la faune " normale " du Léman, avant de délimiter les zones les plus polluées. Les circonstances nous ont obligé à inverser cette démarche.
- De nombreux prélèvements ont été effectués sur la plate-forme littorale. On peut se demander dans quelle mesure cette région, où la couche superficielle du sédiment est susceptible de se déplacer sous l'action des courants et des vagues, donne une image intégrée des pollutions. La zone où la matière organique s'accumule de façon plus ou moins permanente se trouve plutôt à la base du " mont ", c'est-à-dire entre 25 et 40 m de profondeur, selon les régions. Dans cette zone, il est possible de détecter des pollutions à long terme.

#### 4.3. Classement des STEP en fonction de leur influence sur le lac

En tenant compte des remarques et critiques formulées dans les chapitres 4.1. et 4.2., il est possible de classer les STEP étudiées en fonction de leur influence sur le Léman.

- L'action des STEP de Vevey et de Montreux ne peut pas être évaluée à partir des prélèvements disponibles.
- Les STEP dont les effluents arrivent directement au lac peuvent être classées de la façon suivante :
  - a) La STEP de Vidy se distingue nettement de toutes les autres par l'ampleur de ses pollutions. Le golfe de Vidy, qui reçoit également les pollutions venant du réservoir du Flon et celles de la Chamberonne, peut être considéré comme l'une des zones les plus polluées du Léman.
  - b) La STEP de Nyon exerce une influence polluante appréciable. Si l'on tient compte de sa petite taille, la STEP de Rolle entre aussi dans la même catégorie.
  - c) Les STEP de Morges, de Lutry et du Vengeron n'influencent que faiblement l'état biologique du sédiment.
- En ce qui concerne les STEP dont les rejets arrivent au lac par un ruisseau ou une rivière, nous pouvons les classer ainsi :
  - a) Les rejets de la STEP de Villeneuve, dilués par l'Eau Froide, influencent fortement le lac.
  - b) Les rejets des STEP de Pully et de Thonon, mélangées respectivement aux eaux de la Paudèze et de la Drance, exercent une action modérée sur le lac.
  - c) Le Nant d'Aisy et sa STEP n'ont que peu d'effets sur le Léman.

#### 5. CONCLUSION

Après avoir présenté ce classement des STEP du Léman en fonction de leur influence polluante, il est important de rappeler les concepts sur lesquels la détection biologique des pollutions est fondée. A cet égard, le 4ème alinéa du 1er article de l'ordonnance fédérale sur le déversement des eaux usées ( 8 décembre 1975 ) donne un excellent point de départ : " Compte tenu des conditions physiques locales et de la géographie des espèces animales, la faune doit présenter la composition typique que l'on observe dans les eaux faiblement chargées de matières organiques ". Il s'agit donc dans un premier temps de définir la faune normale, c'est-à-dire existant en dehors de toute pollution, de la zone à étudier. Il faut ensuite en arriver à estimer dans quelle mesure cette composition faunistique normale est altérée par des influences qui sont qualifiées de polluantes. La mesure biologique de la pollution consiste à évaluer la " distance " qui sépare la faune observée dans telle ou telle station à la faune normale qui devrait s'y trouver en l'absence de toute influence perturbatrice.

La base de la détection biologique repose donc sur la notion de faune typique ou plus exactement de communauté animale typique. La notion de communauté animale typique va plus loin que celle de faune typique, car elle considère les espèces présentes aussi bien que leur importance relative.

Sur le plan pratique, l'ensemble des communautés animales d'un lac n'a jamais pu être étudié de façon exhaustive. Il importe donc de choisir une communauté particulière qui reflète bien l'évolution trophique du lac et qui soit facile à examiner de façon quantitative. A cet égard, les vers vivant à l'intérieur et à la surface du sédiment constituent une communauté intéressante. En effet, ces animaux, qui sont présents à toutes profondeurs dans les lacs, consomment les bactéries contenues dans le sédiment. Ils dépendent donc des apports en matières organiques arrivant à la surface du sédiment. D'autre part, les différentes espèces qui constituent la communauté n'ont pas les mêmes exigences, en ce qui concerne la concentration en oxygène au niveau de l'interface sédiment-eau. La quantité de matières organiques, qui s'accumule à la surface du sédiment, détermine dans une grande mesure la concentration de l'oxygène au niveau de l'interface. Pour cette raison, connaissant les exigences respectives des espèces de vers, l'importance relative des dites espèces dans la communauté indique les apports organiques qui s'accumulent au niveau du sédiment. Les communautés de vers reflètent donc l'état trophique du lac. De plus, les cycles de vie des espèces de vers utilisées présentent une durée de 1 à 3 années. De ce fait, elles sont capables d'intégrer des modifications du milieu se produisant sur de longues périodes de temps.

En ce qui concerne l'influence des STEP sur le lac, nous nous trouvons en présence de la contradiction suivante : Vidy, la station d'épuration qui respecte le mieux les normes chimiques de rejets des eaux usées ( phosphore total en particulier ) est aussi celle qui enfreint le plus les normes biologiques énoncées dans la même ordonnance. La source de cette divergence réside dans les différentes approches qui ont présidé à l'élaboration de ces directives. Les normes chimiques ne prennent pas en considération la situation écologique globale du récepteur où se déversent les eaux usées, tandis que les critères biologiques se fondent sur cette situation pour juger de l'efficacité de l'épuration. Le respect absolu des exigences biologiques ne nous semble guère possible dans le cas des grandes stations d'épuration qui traitent de gros débits d'eau usées, car il faudrait augmenter considérablement le degré de l'épuration. Mais en revanche, il serait souhaitable de définir, en fonction du nombre d'équivalents-habitants, l'étendue de la zone qui pourrait être influencée par la station. Les variations de l'étendue de cette zone influencée indiqueraient de façon globale l'efficacité de la STEP. Aux contrôles réguliers de la chimie des eaux entrant et sortant des STEP, il conviendrait d'ajouter une analyse de la faune présente dans le récepteur. Le concept de pollution repose en effet sur des bases biologiques et seule la présence de communautés typiques des zones influencées permet d'affirmer qu'aucune pollution n'intervient.

## 6. RESUME

En collaboration avec le laboratoire de Limnogéologie de Genève, 170 prélèvements biologiques ont été effectués en 1976, aux alentours des 12 principales stations d'épuration ( STEP ) déversant dans le Léman. Cette étude a pour but de mettre en évidence le niveau d'eutrophisation et de pollution du littoral lémanique. Pour mener à bien cette analyse, une méthode biologique, basée sur la faune présente dans le sédiment, a été utilisée.

La faune rencontrée se compose essentiellement de vers et de larves de chironomides. Des études antérieures ont montré que l'abondance relative des espèces de vers variait en fonction du degré de pollution. Sur la base de différentes analyses statistiques multivariées, il est possible de répartir les espèces de vers en trois catégories dont chacune d'elles caractérise un niveau trophique différent, soit eutrophe, mésotrophe ou oligotrophe. Dans le cadre de cette étude, les milieux eutrophes sont considérés comme étant pollués, les autres comme non pollués. Afin de quantifier ces différences, un indice de pollution et un indice d'oligotrophie ont été calculés pour chaque prélèvement à partir de la somme des abondances relatives des espèces caractérisant chacun des niveaux trophiques définis ci-dessus. D'autres critères biologiques tels que la densité des vers et des chironomides, la proportion chironomides/vers ainsi que la diversité spécifique des vers ont été utilisés de concert avec les deux indices déjà mentionnés. L'ensemble de ces critères a permis d'estimer l'état pollutif des régions entourant les stations d'épuration ainsi que l'influence des stations elles-mêmes sur le lac. Le classement suivant a pu être établi :

1. Station d'épuration dont les effluents se déversent directement dans le lac.
  - La STEP de Vidy se distingue nettement de toutes les autres par l'ampleur des pollutions qu'elle détermine. Le déversoir d'orage du Flon participe à cette pollution.
  - La STEP de Nyon exerce une influence appréciable sur le lac, ainsi que celle de Rolle si l'on tient compte de sa petite taille.
  - Les STEP de Morges, de Lutry et du Vengeron n'influencent que faiblement le lac du point de vue de la qualité biologique du sédiment.
2. Stations d'épuration dont les effluents arrivent au lac par un ruisseau.
  - La STEP de Villeneuve a une forte influence sur le lac.
  - Les STEP de Pully et de Thonon exercent une influence moyenne sur le lac.
  - Le Nant d'Aaisy n'a que peu d'influence sur le lac.

L'action des STEP de Vevey et de Montreux ne peut pas être estimée à partir des prélèvements disponibles.

---

#### REFERENCES

- Brinkhurst, R.O. and Jamieson, B.G.M. 1971 :  
Aquatic oligochaeta of the world.  
Oliver and Boyd, Edinburgh 860 pp.
- Brinkhurst, R.O., 1974 :  
The benthos of Lakes. Macmillan Press Ltd London 190 pp.
- Chevalier Y. et Thonney F. 1975 :  
Etude de la macrofaune benthique au large de la station  
d'épuration de Rolle. Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat.  
348 ( 72 ) pp. 253 - 257.
- Juget J., 1967 : La faune benthique du Léman, modalité  
et déterminisme écologique du peuplement. Thèse de  
l'Université de Lyon, 360 pp.
- Lang C., 1974 : Influence des rejets de la station d'épuration  
de Vidy sur l'eau, les sédiments et la faune benthique du Léman.  
Rapports de la Commission internationale pour la protection des  
eaux du lac Léman contre la pollution.
- Lang C., 1975 : Influence des rejets de la station d'épuration  
de Vidy sur la faune benthique du Léman. Verh. Internat. Verein.  
Limnol. 19 : 1182-1192
- Lang C., sous presse : Approche multivariable de la détection biologique  
et chimique des pollutions dans le lac Léman. ( Suisse ) Arch. Hydrobiol.
- Lang C., sous presse : Factorial correspondence analysis of Oligochaeta  
communities according to eutrophication level. Hydrobiologia.
- Milbrink G., 1973 : On the use of indicator communities of Tubificidae  
and some Lumbriculidae in the Assessment of water pollution in Swedisch  
Lakes. Zoon 1 : 125-139.
- Vernet J.-P., 1976 : Etude de la pollution des sédiments du Léman  
et du bassin du Rhône. Rapports de la Commission internationale  
pour la protection des eaux du lac Léman contre la pollution.



TABLEAU 1 : CARACTERISTIQUES DES 12 STATIONS D'EPURATION ETUDIEES EN 1976

Stations	Equivalents-habitants (1)	Point de rejet
Vengeron	3500	rivage
Nant d'Aisy	6000	ruisseau ( Nant d'Aisy )
Nyon	30000	rivage
Rolle	7500	rivage
Morges	35000	beine
Vidy	330000	bord du " mont "
Pully	30000	rivière ( Paudèze )
Lutry	12000	bord du " mont "
Vevey	60000	rivière ( Veveyse )
Montreux	45000	bord du " mont "
Villeneuve	6100	rivière ( Eau Froide )
Thonon	114000	rivière ( Drance )

(1) d'après les rapports Thélin 1976, Vernet 1976

TABLEAU 5 : REGIONS ENTOURANT LES 12 STATIONS D'EPURATION ETUDIEES EN 1976 RANGEES EN FONCTION DES VALEURS DECROISSANTES DU SCORE POLLUTIF CALCULE A PARTIR DES RANGS DE 8 PARAMETRES BIOLOGIQUES ( Voir Tableau 4 et texte ).

Régions	score pollutif
Vidy	81
Villeneuve	74.5
Nant d'Aisy	67
Montreux	61.5
Vengeron	59
Thonon	48.5
Vevey	48
Nyon	45.5
Pully	39
Morges	38
Rolle	34
Lutry	28

TABLEAU 2 : SIGNIFICATION DES ESPECES DE VERS DU POINT DE VUE DETECTION BIOLOGIQUE DES POLLUTIONS.

No	taxons	oligotrophe	mésotrophe	eutrophe	fréquence % prélèvements
1	<i>Stylodrilus lemani</i>	+++	+		3
2	<i>Stylodrilus heringianus</i>	+++	+		2
3	<i>Peloscoclex velutinus</i>	++	+		5
4	<i>Potamotheix vej dovskyi</i>	++	+		21
5	<i>Aulodrilus pluriseta</i>	+	+++		17
6	<i>Psammoryctides barbatus</i>	+	+++		9
7	<i>Potamotheix spec.</i>	+	++	+++	91
8	<i>Potamotheix hammoniensis</i>	+	++	+++	23
9	<i>Peloscoclex ferox</i>	+	++	+++	23
10	<i>Tubifex tubifex</i>	+	++	+++	6
11	<i>Limnodrilus spec.</i>	+	++	++	72
12	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	+	++	++	21
13	<i>Limnodrilus claparedeanus</i>		+?		4
14	<i>Limnodrilus udekemianus</i>		+?		4
15	<i>Limnodrilus profundicola</i>	+?	+?		1
16	<i>Potamotheix heuscheri</i>	+?	++?		23
17	<i>Potamotheix bavaricus</i>		+?		1
18	<i>Potamotheix bedoti</i>		+?		1
19	<i>Aulodrilus limnobius</i>		+?	+?	13
20	<i>Aulodrilus pigueti</i>		+?		1
21	<i>Ilyodrilus templetoni</i>		+?		2

+ présent, ++ abondant, +++ très abondant, ? classification incertaine.

L'indice d'oligotrophie est calculé à partir de l'abondance relative des espèces 1 à 6 ; l'indice de pollution à partir des espèces 7 à 12.

TABLEAU 3 : COEFFICIENTS DE CORRELATION DE PEARSON CALCULES ENTRE LES INDICES D'OLIGOTROPHIE ( iO ), DE POLLUTION ( iP ) ET LES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DU SEDIMENT.

Paramètres chimiques	iO	iP
Eh	.00	-.10
pH	.01	-.12 *
C inorganique	-.28 **	.11
C organique	-.22 *	.14 *
Pb	-.08	.16 *
Hg	.08	.09
Mn	.46 ***	-.20 ***
Cu	.03	.09
Zn	-.08	.15 *
Ni	+.31 ***	-.23 ***
Co	.04	-.01
Cr	.06	.01
Cd	-.14	.26 ***
Sr	-.34 ***	.13 *
Sn	-.07	.18 **
Ba	.09	.07
B	.13	-.06
P total	-.15	.18 *
Grain moyen	.60 ***	-.33 ***
Gravier	-.11	-.24
Sable	-.30 *	.08
Limon	.06	.07
Argile	.55 ***	-.33 ***
Indice pollution métaux lourds	-.00	.15 *

\* p < .05, \*\* p < .01, \*\*\* p < .001

TABLEAU 4 : VALEUR MOYENNE ET ( EN ITALIQUE ) DOUBLE DE L'ERREUR STANDARD DES CARACTERISTIQUES BIOLOGIQUES DES PRELEVEMENTS DANS LA REGION DES 12 STATIONS D'EPURATION ETUDIÉES EN 1976.

Régions	Nombre de prélèvements	Profondeur des prélèvements	Nombre de vers sur 15 cm <sup>2</sup>	Indice de pollution	Indice d'oligotrophie	Diversité spécifique	Nombre d'espèces de vers/15 cm <sup>2</sup>	Nombre d'espèces oligotrophes	Nombre de chironomides	Nombre chiro. X 100 Nombre vers
Vengeron	13	18.7 <i>4.35</i>	9.5 <i>4.52</i>	92 <i>5.18</i>	2.2 <i>2.7</i>	189 <i>33.68</i>	2.6 <i>0.7</i>	0.54 <i>0.28</i>	3.7 <i>2.49</i>	34 <i>22.17</i>
Nant d'Aisy	3	17.3 <i>4.66</i>	10.0 <i>14.18</i>	100 -	0 -	148 <i>53.27</i>	2.0 <i>1.15</i>	0 -	5.7 <i>8.51</i>	193 <i>193.67</i>
Nyon	14	11.9 <i>4.91</i>	32.9 <i>15.08</i>	89 <i>6.34</i>	1.4 <i>1.2</i>	236 <i>36.41</i>	4.3 <i>0.97</i>	0.85 <i>0.51</i>	9.3 <i>4.46</i>	35 <i>14.16</i>
Rolle	17	17.1 <i>5.85</i>	26.5 <i>16.89</i>	67 <i>14.34</i>	24.8 <i>15.65</i>	220 <i>33.35</i>	3.5 <i>0.66</i>	0.94 <i>0.32</i>	0.6 <i>4.80</i>	91 <i>56.95</i>
Morges	26	19.7 <i>5.38</i>	30.8 <i>13.22</i>	79 <i>10.10</i>	9.9 <i>7.84</i>	224 <i>29.32</i>	4.0 <i>0.74</i>	1.00 <i>0.29</i>	18.0 <i>6.23</i>	178 <i>184.35</i>
Vidy	34	20.8 <i>6.66</i>	28.8 <i>11.51</i>	95 <i>4.42</i>	0.4 <i>0.57</i>	197 <i>22.76</i>	3.0 <i>0.41</i>	0.12 <i>0.14</i>	0.4 <i>0.28</i>	2 <i>1.33</i>
Pully	14	36.5 <i>14.33</i>	26.6 <i>10.25</i>	73 <i>19.38</i>	25.9 <i>19.65</i>	234 <i>42.21</i>	4.1 <i>0.93</i>	1.21 <i>0.67</i>	3.0 <i>1.37</i>	15 <i>7.85</i>
Lutry	11	40.3 <i>9.65</i>	21.5 <i>9.71</i>	58 <i>17.71</i>	38.5 <i>17.42</i>	273 <i>100.25</i>	4.2 <i>1.07</i>	1.54 <i>0.49</i>	2.9 <i>2.13</i>	19 <i>14.21</i>
Vevey	8	56.4 <i>30.71</i>	16.6 <i>8.11</i>	77 <i>15.98</i>	22.4 <i>16.04</i>	215 <i>33.38</i>	3.4 <i>0.92</i>	1.25 <i>0.62</i>	1.5 <i>1.36</i>	9 <i>10.26</i>
Montreux	11	29.3 <i>15.24</i>	17.9 <i>16.03</i>	85 <i>11.62</i>	10.3 <i>11.2</i>	190 <i>48.55</i>	2.8 <i>0.89</i>	0.73 <i>0.6</i>	2.1 <i>1.86</i>	17 <i>13.92</i>
Villeneuve	12	22.4 <i>5.72</i>	19.0 <i>11.99</i>	96 <i>6.11</i>	0.9 <i>1.83</i>	180 <i>27.17</i>	2.3 <i>0.57</i>	0.17 <i>0.33</i>	2.1 <i>0.83</i>	30 <i>20.43</i>
Thonon	7	33.1 <i>20.44</i>	72.8 <i>67.69</i>	81 <i>18.16</i>	10.8 <i>15.51</i>	209 <i>43.15</i>	3.7 <i>1.13</i>	1.14 <i>0.8</i>	4.1 <i>2.81</i>	35 <i>41.31</i>
Moyenne	14.2	24.7	26.6	83.0	11.2	213	3.42	0.747	5.99	53.3
Probabilité associée à F		.000	.03	.000	.000	.05	.002	.000	.000	.09

Une probabilité égale ou inférieure à .05 veut dire que les différences observées entre les régions sont statistiquement significatives.