

Diversité du zoobenthos dans la Venoge et le Veyron : tendance 1990-2000

Autor(en): **Lang, Claude**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles**

Band (Jahr): **87 (2000-2001)**

Heft 1

PDF erstellt am: **27.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-281390>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Diversité du zoobenthos dans la Venoge et le Veyron: tendance 1990 – 2000

par

Claude LANG¹

Abstract.—LANG C., 2000. Zoobenthic diversity in two rivers of western Switzerland: the 1990-2000 trend. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat. 87.1: 1-14.*

Surveys of benthic invertebrates were made every year between 1990 and 2000 in 18 sites located in two rivers of western Switzerland (canton of Vaud). Five descriptors based on total number of taxa and number of taxa intolerant of pollution (Plecoptera, Heptageniidae, and case bearing Trichoptera) were used to describe the patterns of benthic diversity. In all surveys, the diversity decreased downward. This trend reflected the increased human impacts on the rivers and their drainage basins. The diversity increased between 1990 and 2000 because of better meteorological conditions (i.e. more water in the rivers) coupled with the increased efficiency of sewage treatment plants. But the diversity remained low downward, perhaps because of chronic pollutions by pesticides and other pollutants.

Keywords: diversity, indicator species, river, water quality, zoobenthos.

Résumé.—LANG C., 2000. Diversité du zoobenthos dans la Venoge et le Veyron: tendance 1990-2000. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat. 87.1: 1-14.*

Des campagnes de prélèvements d'invertébrés benthiques ont été effectuées chaque année entre 1990 et 2000 dans 18 stations localisées dans deux rivières vaudoises. Cinq descripteurs basés sur le nombre total de taxons et le nombre de taxons sensibles aux pollutions (plécoptères, heptagénéiidés et trichoptères à fourreau) sont utilisés pour décrire la répartition de la diversité. Dans toutes les campagnes, la diversité diminue d'amont en aval. Cette tendance reflète l'augmentation des impacts d'origine humaine sur les cours d'eau et leurs bassins versants. La diversité a augmenté entre 1990 et 2000 à cause de conditions météorologiques plus favorables (plus d'eau dans les rivières) conjuguées à l'efficacité accrue des stations d'épuration. Cependant la diversité reste basse en aval, peut-être à cause de pollutions chroniques par des pesticides et d'autres micropolluants.

Mots-clefs : diversité, espèce indicatrice, cours d'eau, qualité de l'eau, zoobenthos

¹Conservation de la faune, Marquisat 1, CH-1025 St-Sulpice, Suisse
Claude.Lang@sffn.vd.ch

INTRODUCTION

En 1990, le peuple vaudois a accepté une initiative constitutionnelle visant à protéger la Venoge et le Veyron, son principal affluent. Dans ce cadre, diverses mesures ont été proposées afin d'améliorer la qualité biologique du milieu aquatique (PPV 1995). Pour évaluer l'efficacité à long terme de ces mesures, le laboratoire d'hydrobiologie de la conservation de la faune a intensifié les contrôles dans ce bassin versant et mis en place un réseau de surveillance basé sur les communautés d'invertébrés qui colonisent le fond des cours d'eau (zoobenthos). En effet, la diversité du zoobenthos diminue en fonction de l'intensité des perturbations d'origine humaine subies (HELLAWELL 1986). Cette diminution est particulièrement marquée chez les plécoptères, certains éphéméroptères et les trichoptères à fourreau d'où l'utilisation de ces groupes comme indicateurs (FORE *et al.* 1996). Dans la Venoge par exemple, la diversité des plécoptères (exprimée par le nombre d'espèces présentes) a fortement diminué entre 1945 et 1982 à basse altitude alors qu'elle ne changeait pas dans les stations les plus en amont (AUBERT 1984). Ce gradient de diversité amont-aval reflète l'augmentation des impacts d'origine humaine à basse altitude (LANG et REYMOND 1993, 1995).

Entre 1982 et 1998, l'épuration des eaux s'est généralisée et les performances des stations d'épuration se sont améliorées (FIAUX *et al.* 1999) si bien que les quantités de matière organique et de nutriments déversées dans les cours d'eau vaudois ont diminué. La diversité du zoobenthos devrait donc augmenter en réponse à cette amélioration de la qualité chimique de l'eau. Cependant, comme le bassin versant et la rivière qui le draine sont étroitement liés (HYNES 1975), l'altération du caractère naturel des bassins versants, surtout à basse altitude, pourrait empêcher la restauration de la diversité, même si la composition chimique de l'eau redevient normale, tout au moins en termes d'éléments majeurs (matière organique, phosphore et azote); les micropolluants d'origine diverse (agricole, artisanale, industrielle et ménagère), continuent en effet à poser problème (CORVI et KIM-HEANG 1997, VIOGET *et al.* 1995, VIOGET et STRAWCZYNSKI 1997).

Pour interpréter l'évolution à long terme du zoobenthos, il faut également tenir compte de la météorologie (ALLAN 1995). Par exemple, la longue sécheresse de 1989 a réduit le débit des cours d'eau vaudois et augmenté ainsi la concentration des polluants, donc leur impact sur le zoobenthos (LANG 2000). Faute d'une dilution suffisante, les capacités d'auto-épuration naturelles de certains cours d'eau peuvent être complètement dépassées si l'épuration des eaux n'a pas été conçue en fonction de conditions extrêmes. Signalons également que des crues très violentes peuvent durablement diminuer la diversité du zoobenthos en bouleversant le lit des cours d'eau (ALLAN 1995).

La présente étude analyse l'évolution de la diversité du zoobenthos dans la Venoge et le Veyron sur la base de campagnes de prélèvements effectuées chaque année entre 1990 et 2000. Son but consiste à mettre en évidence l'effet sur le zoobenthos des mesures d'assainissement prises, ceci en fonction de l'altitude et des conditions météorologiques observées au cours de cette période. Cette démarche s'effectue dans le cadre d'une surveillance biologique générale des cours d'eau vaudois (LANG 1996, 1997, 1998, LANG 2000).

STATIONS ET MÉTHODES

L'analyse présentée ici se concentre sur une période où les données sont parfaitement comparables entre elles: 18 stations de prélèvements étudiées chaque année entre 1990 et 2000 dans la Venoge et le Veyron, son principal affluent. Les 18 stations étudiées (fig. 1) se répartissent dans quatre régions distinctes: le Veyron (stations 1 à 4), la haute Venoge (stations 5 à 9), la moyenne Venoge (stations 10 à 14) et la basse Venoge (stations 15 à 18). Les stations de prélèvements étudiées présentent des caractéristiques communes qui les rendent comparables entre elles: pour la plupart, elles sont localisées dans la zone à truite de Huet et le rithron d'Illies (RIBAUT 1966), donc dans une écorégion relativement homogène; toutes renferment des surfaces de cailloux balayées par le courant (zone de rapides) d'au moins 20 m² ce qui permet de prélever toujours dans le même substrat; aucune n'est directement exposée aux rejets polluants d'une station d'épuration ou d'un important égout. Elles représentent donc la situation générale de la rivière en l'absence de pollutions ponctuelles bien marquées.

Chaque station est visitée à deux reprises chaque année d'étude: la première fois en janvier-février, la seconde fois en mars-avril, c'est-à-dire pendant l'étiage d'hiver et, si possible, avant la crue de printemps. En 1995, les stations 10 à 18 n'ont pu être visitées qu'une seule fois en juin à cause d'une série de crues en hiver et au printemps. De plus, les hautes eaux ont rendu difficiles les prélèvements hivernaux dans les stations 1 à 9. Du fait de ces problèmes, les résultats obtenus en 1995 pourraient ne pas être représentatifs.

Au cours de chaque visite, six coups de filet sont donnés dans six différentes zones de cailloux (rapides) de la station, correspondant chacune à une surface prélevée d'environ 0.1 m². Le filet est posé sur le fond, son ouverture (20 cm x 20 cm) face au courant, de manière à ce que celui-ci y entraîne les invertébrés délogés en remuant le substrat avec le pied. Tous les invertébrés récoltés dans ces six coups de filet constituent un prélèvement qui est immédiatement conservé sur le terrain dans du formol 5 %.

En laboratoire, les invertébrés, séparés des sédiments et débris végétaux par des tamisages successifs (REYMOND 1995), sont identifiés (TACHET *et al.* 1980)

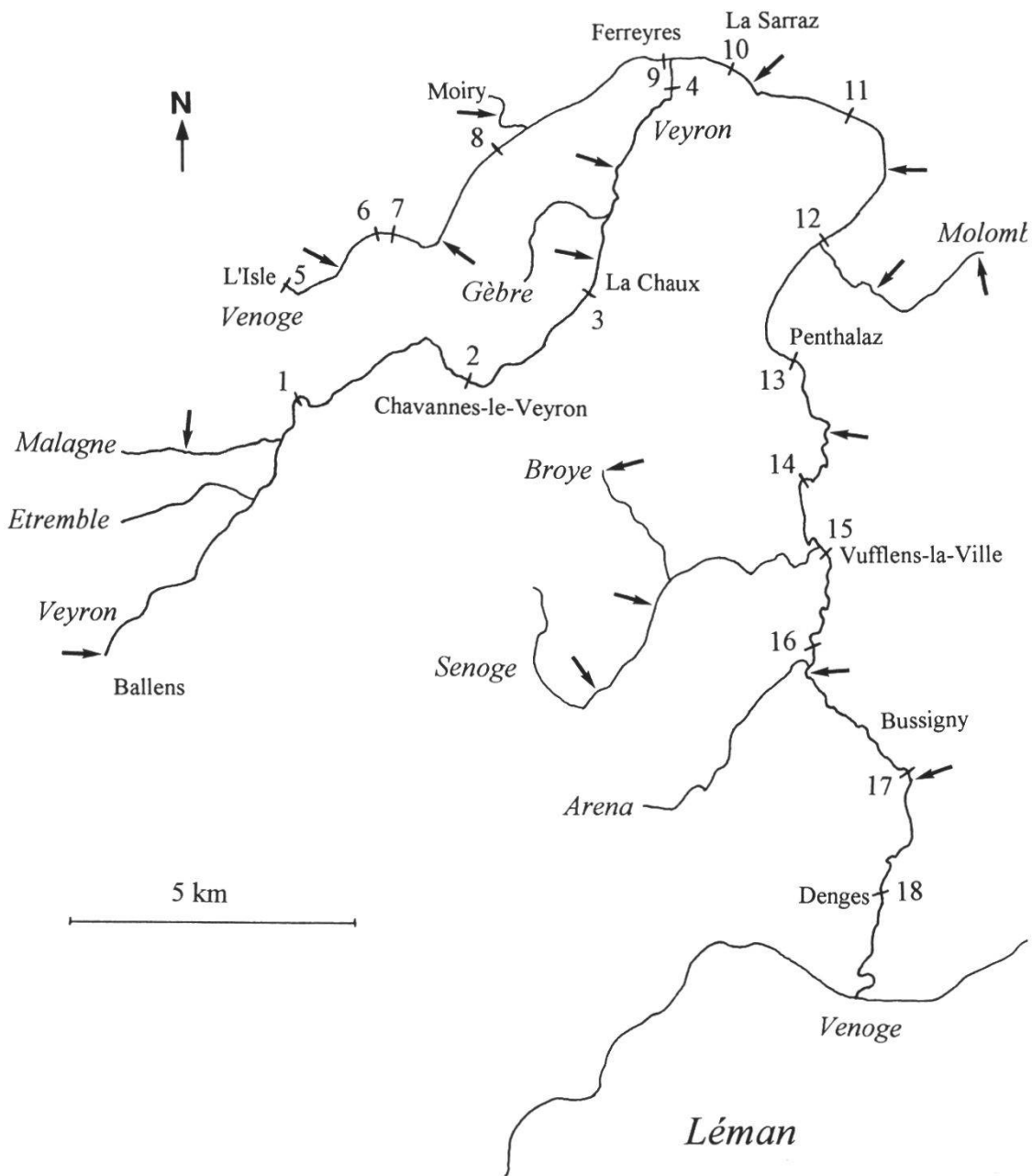


Figure 1.—Localisation et numéros d'identification des 18 stations de prélèvements visitées chaque année entre 1990 et 2000 dans le Veyron (stations 1 à 4) et la Venoge (stations 5 à 18). Numéros d'identification et noms des stations: 1 Villars-Bozon, 2 Chavannes-le-Veyron, 3 La Chaux, 4 Ferreyres, 5 L'Isle, 6 Cuarnens 1, 7 Cuarnens 2, 8 Moiry, 9 Ferreyres, 10 La Sarraz, 11 Eclépens, 12 Lussery, 13 Penthalaz, 14 Le Moulinet, 15 Vufflens-la-Ville, 16 Moulin du Choc, 17 Bussigny, 18 Denges. Les flèches indiquent les points de rejet des stations d'épuration.

jusqu'au niveau du genre, de la famille ou de la classe selon les groupes (annexe 1). La liste combinée des taxons présents chaque année dans chaque station est ensuite dressée à partir des deux prélèvements effectués dans chacune d'elles; cependant, le même taxon observé dans les deux prélèvements de la même station n'est compté qu'une seule fois. Toutes les analyses présentées dans cet article sont basées sur la liste combinée des taxons présents la même année dans la même station. Cette approche rend les comparaisons entre sta-

tions et entre années plus fiables en diminuant l'impact d'événements exceptionnels (brèves crues avant le prélèvement par exemple) sur la diversité du zoobenthos (FURSE *et al.* 1984).

Dans cette étude, la diversité des communautés d'invertébrés est estimée à partir de cinq descripteurs: (1) le nombre total de taxons (genre ou famille), (2) le nombre de taxons sensibles aux pollutions (plécoptères, heptagénéiidés et trichoptères à fourreau), (3) l'indice RIVAUD (LANG et REYMOND 1995) calculé à partir de 1 et 2 (annexe 2), (4) le nombre de familles, (5) le nombre de familles sensibles aux pollutions (plécoptères, heptagénéiidés et trichoptères à fourreau). Les descripteurs retenus ici sont ceux généralement utilisés pour l'étude des cours d'eau (FORE *et al.* 1996). Certains sont très semblables entre eux: tout ce qui les différencie, c'est le niveau d'identification atteint (le genre ou la famille). Leur inclusion permet d'évaluer l'effet de ce facteur sur l'analyse des résultats.

Les diversités calculées ici ne sont pas basées sur les espèces mais sur des genres, des familles et même des classes (annexe 1). Cependant cette approche simplifiée peut être utilisée parce qu'il existe une corrélation très significative entre le nombre de familles et d'espèces présentes dans les rivières (WRIGHT *et al.* 1998). De plus, l'analyse des communautés d'invertébrés benthiques donne souvent des résultats analogues qu'elle soit basée sur des identifications faites au niveau de la famille ou de l'espèce (FURSE *et al.* 1984).

Les variations des cinq descripteurs sont d'abord analysées en fonction de l'altitude des 18 stations de prélèvements. Les valeurs moyennes des cinq descripteurs sont ensuite calculées pour chacune des quatre régions définies ci-dessus et pour chaque campagne de prélèvements afin d'évaluer la tendance 1990-2000 région par région. Pour ce faire, la valeur du coefficient de corrélation de rang de Spearman est calculée pour chaque région entre les onze valeurs moyennes de chaque descripteur et les dates des onze années correspondantes. Ce calcul est également effectué après avoir éliminé les résultats obtenus en 1995 qui pourraient ne pas être représentatifs pour les raisons énoncées ci-dessus.

RÉSULTATS

L'épuration des eaux a entraîné une baisse significative ($r_s = -0.89$, $n = 16$) des concentrations en phosphore soluble dans la Venoge entre 1984 et 1999 (fig. 2). Cependant, la longue sécheresse de 1989 a momentanément compromis l'amélioration de la qualité chimique de l'eau. En effet cette année-là, le débit moyen de la Venoge est particulièrement faible. A cause de ce manque d'eau, les apports en phosphore soluble, ainsi que ceux des polluants, sont moins dilués et les concentrations plus élevées qui en résultent, ont diminué la diversité du zoobenthos en 1990 (LANG 2000).

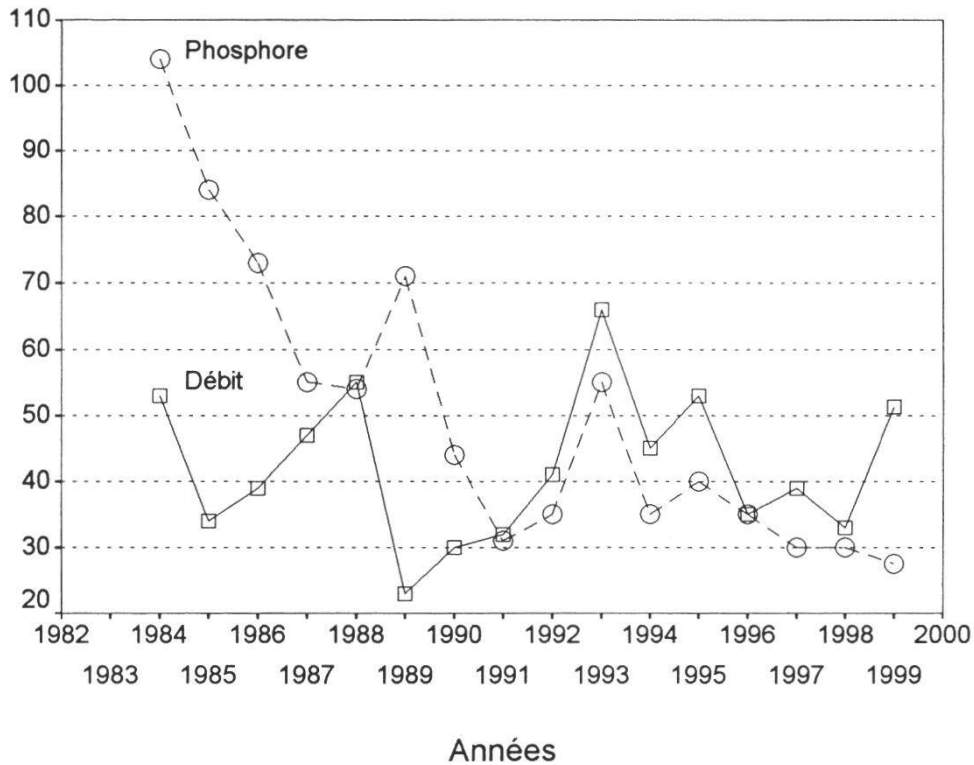


Figure 2.—Evolution des concentrations moyennes en phosphore soluble (mg/m^3) et des débits d'eau (m^3/sec multipliés par 10) dans la Venoge entre 1984 et 1999. Les concentrations, pondérées par le débit (ORAND et GAGNAIRE 1999), sont mesurées en amont de Denges (station 18).

Les valeurs moyennes 1990-2000 des descripteurs de la diversité du zoobenthos diminuent à basse altitude dans le Veyron et surtout dans la Venoge (fig. 3). Il existe en effet une corrélation positive entre l'altitude des 18 stations de prélèvements et les valeurs du nombre total de taxons ($r_s = 0.75$), du nombre total de familles ($r_s = 0.72$), de l'indice RIVAUD ($r_s = 0.87$), du nombre de taxons sensibles aux pollutions ($r_s = 0.90$), du nombre de familles sensibles aux pollutions ($r_s = 0.98$). Cette tendance à l'augmentation reste significative même si les résultats sont analysés séparément pour chaque année. Signalons enfin que la diversité totale (RIVAUD), contrairement au nombre de taxons sensibles, diminue à la station 5 (à L'Isle) parce qu'elle se situe au voisinage immédiat de la source de la Venoge, donc dans une zone (crénon) où la diversité baisse pour une cause naturelle (ALLAN 1995).

La diversité du zoobenthos augmente significativement (tab. 1) entre 1990 et 2000 à des degrés divers dans les quatre régions étudiées (fig. 4). La tendance est plus marquée si les valeurs moyennes obtenues en 1995, qui ne sont pas représentatives à cause des problèmes de prélèvements rencontrés (voir Stations et méthodes), sont éliminées du calcul. Ce n'est que dans le Veyron que les cinq descripteurs de la diversité indiquent une augmentation significative. Dans les autres régions, les nombres totaux de taxons et de familles constituent les indicateurs de tendance les plus significatifs: le milieu y reste encore trop perturbé pour qu'augmentent les taxons sensibles aux pollutions.

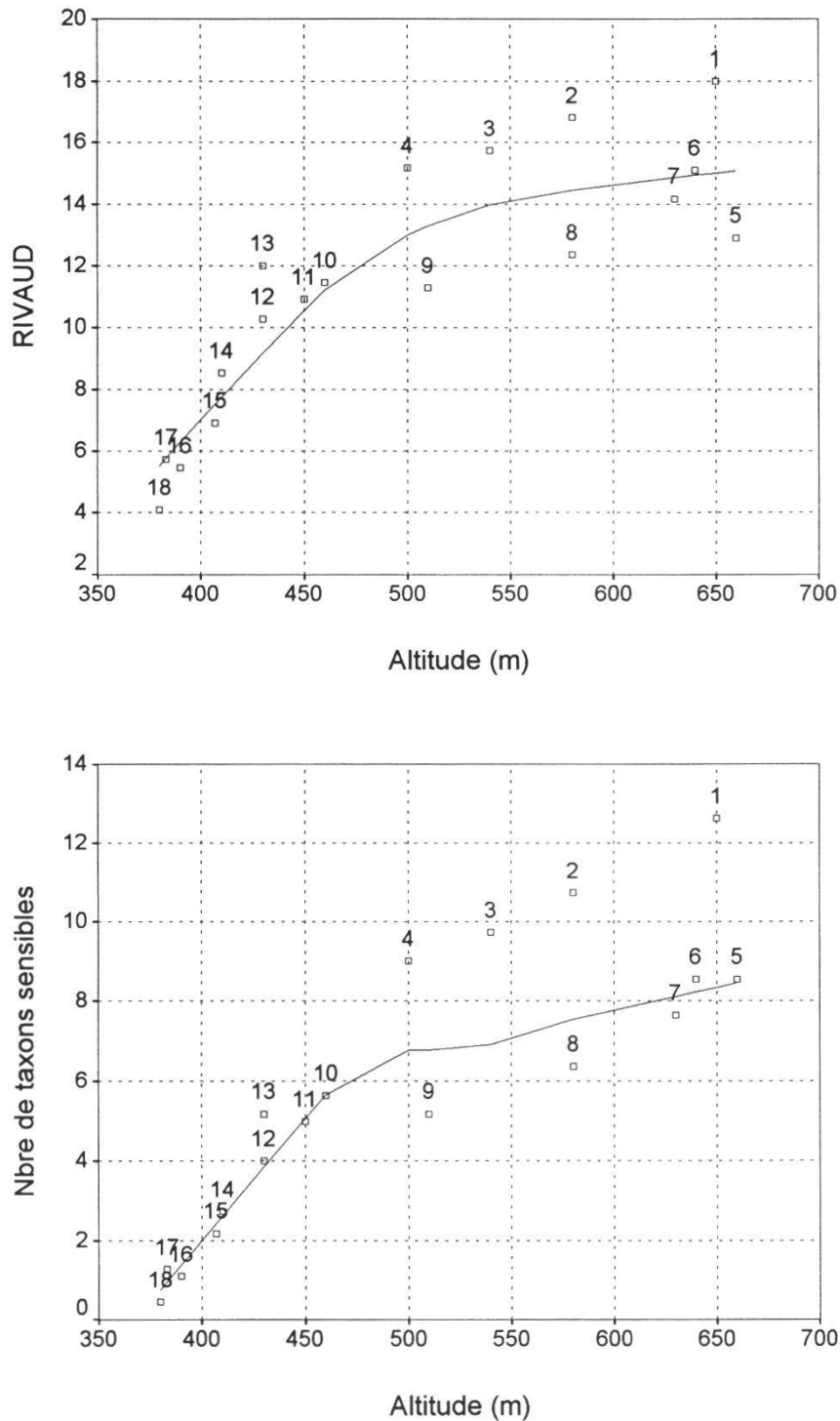


Figure 3.—Variations en fonction de l'altitude des stations de prélèvements des valeurs moyennes (1990 à 2000) de l'indice RIVAUD (figure du haut) et du nombre de taxons sensibles aux pollutions (figure du bas) dans le Veyron (stations 1 à 4: de Villars-Bozon à Ferreyres, voir figure 1) et la Venoge (stations 5 à 18: de L'Isle à Denges). Les courbes correspondent à des régressions robustes (LOWESS).

La figure 4 montre également que les différences de diversité restent assez constantes d'une année à l'autre entre les quatre régions étudiées. Signalons enfin que l'état de la haute Venoge reste moins bon que celui du Veyron.

Tableau 1.—Evolution 1990-2000 de la diversité du zoobenthos dans quatre régions estimée à partir des valeurs du coefficient de corrélation de rang de Spearman. Nombre total de taxons (NTT), nombre de taxons sensibles aux pollutions (NTS), indice RIVAUD, nombre total de familles (NTF), nombre de familles sensibles aux pollutions (NFS). Les corrélations de rang sont calculées soit sur onze années (en dessus) soit sur dix années (en dessous, année 1995 exclue).

Régions	Valeurs du coefficient de corrélation de rang de Spearman (probabilités)				
	NTT	NTS	RIVAUD	NTF	NFS
Veyron	0.91 (0.000)	0.75 (0.008)	0.79 (0.004)	0.93 (0.000)	0.70 (0.017)
	0.90 (0.000)	0.84 (0.002)	0.84 (0.002)	0.92 (0.000)	0.80 (0.005)
Haute Venoge	0.70 (0.016)	0.37 (0.258)	0.51 (0.106)	0.84 (0.001)	0.53 (0.094)
	0.75 (0.012)	0.42 (0.229)	0.55 (0.097)	0.85 (0.002)	0.59 (0.072)
Moyenne Venoge	0.82 (0.002)	0.70 (0.016)	0.78 (0.004)	0.81 (0.003)	0.68 (0.022)
	0.88 (0.001)	0.81 (0.004)	0.89 (0.000)	0.87 (0.001)	0.79 (0.007)
Basse Venoge	0.77 (0.005)	0.30 (0.371)	0.51 (0.112)	0.78 (0.004)	0.35 (0.295)
	0.83 (0.003)	0.34 (0.339)	0.59 (0.072)	0.85 (0.002)	0.39 (0.265)
Toutes	0.87 (0.000)	0.66 (0.026)	0.83 (0.002)	0.88 (0.000)	0.67 (0.023)
	0.95 (0.000)	0.77 (0.009)	0.90 (0.000)	0.96 (0.000)	0.79 (0.006)

DISCUSSION

Dans la Venoge et le Veyron, la diminution amont-aval de la diversité du zoobenthos reste bien marquée chaque année entre 1990 et 2000 (fig. 3). Toutefois la diversité augmente tout de même dans chacune des quatre régions étudiées pendant cette période (fig. 4). La première tendance correspond à l'augmentation amont-aval des perturbations d'origine humaine qui s'observe dans la plupart des bassins versants vaudois (LANG et REYMOND 1993, 1995, LANG 2000). La deuxième tendance montre à la fois les progrès de l'épuration des eaux et les effets d'une météorologie favorable. Remarquons à ce propos que le débit plus élevé observé en 1999 (fig. 2) a probablement contribué à l'augmentation de la diversité en 2000 (fig. 4).

Comme la longue sécheresse de 1989 (fig. 2) a influencé fortement la campagne de prélèvements de 1990, l'évolution ultérieure de la diversité (LANG 1997, LANG 2000) pourrait s'interpréter comme le rétablissement progressif du zoobenthos après un épisode climatique exceptionnel. Si cette interprétation est correcte, la diversité du zoobenthos observée pendant les dernières campagnes correspondrait à une situation normale sur le plan météorologique pour

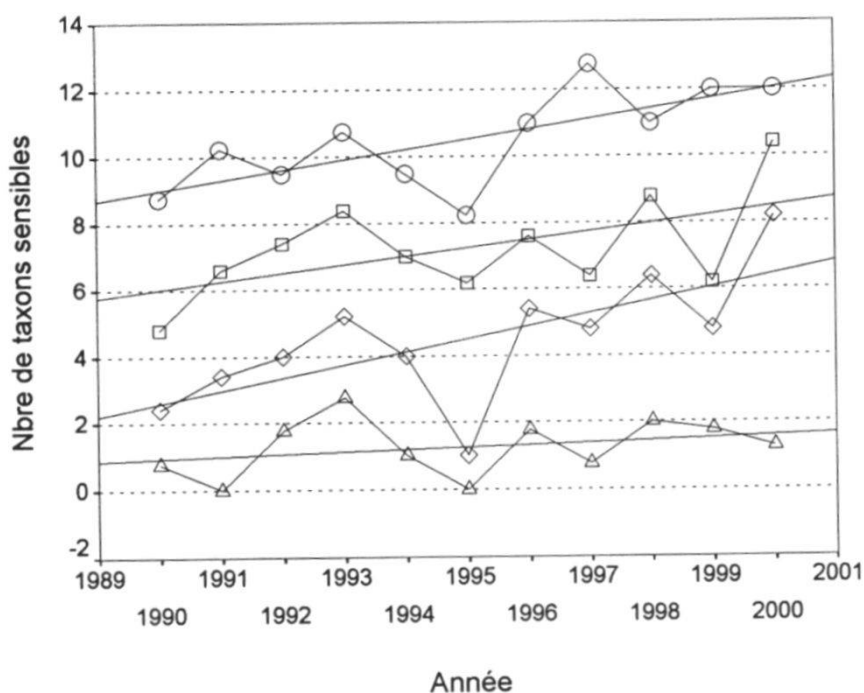
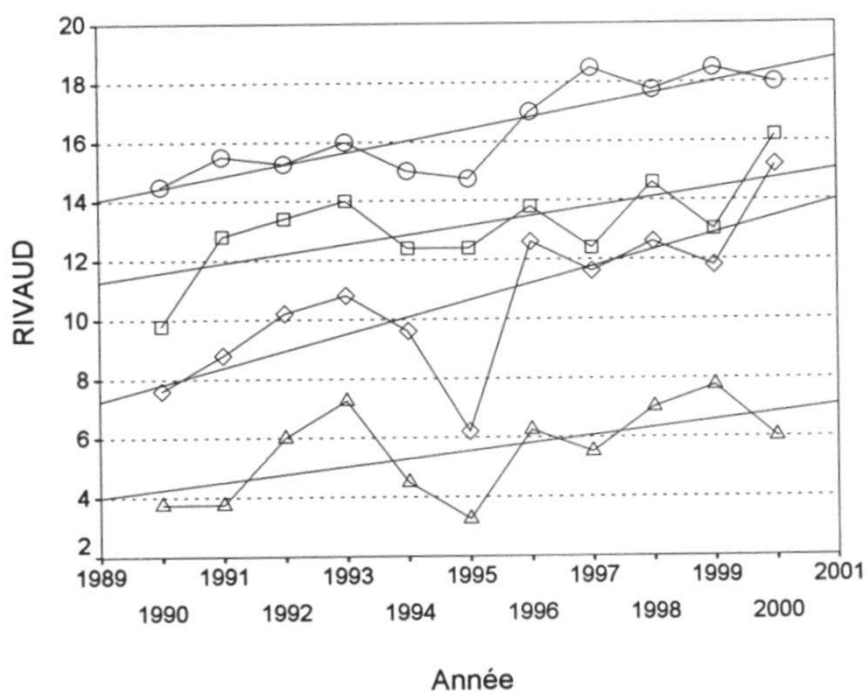


Figure 4.-Variations des valeurs moyennes de l'indice RIVAUD (figure du haut) et du nombre de taxons sensibles (figure du bas) entre 1990 et 2000 dans le Veyron (cercles), la haute Venoge (carrés), la moyenne Venoge (losanges) et la basse Venoge (triangles). Les droites de régression sont indiquées pour chaque région.

la Venoge et le Veyron. En prenant les diversités observées en amont comme valeurs de référence pour un milieu où les perturbations d'origine humaine sont minimales (fig. 4), nous constatons que la diversité diminue d'amont en aval malgré une épuration des eaux complètement réalisée en termes de stations d'épuration opérationnelles (FIAUX *et al.* 1999).

L'effet de l'amélioration de la qualité chimique de l'eau sur la diversité du zoobenthos semble contrecarré par la persistance d'autres perturbations d'origine humaine (ALLAN 1995). Par exemple, l'alluvionnement, l'altération des débits de crue et d'étiage et la dégradation de la végétation riveraine peuvent modifier le caractère naturel d'un cours d'eau. De plus, les activités agricoles pratiquées dans le bassin versant font diminuer la diversité du zoobenthos si elles sont trop intenses (GRUBAUGH et WALLACE 1995). Dans cette optique, des pollutions tant aiguës que chroniques par des produits phytosanitaires pourraient expliquer la faible diversité du zoobenthos qui persiste entre 1990 et 2000 dans la basse Venoge malgré une épuration des eaux entièrement réalisée. La conjonction de faibles débits et d'une agriculture très active fait que divers produits phytosanitaires sont présents dans l'eau en concentrations suffisamment élevées (CORVI et KIM-HEANG 1997, VIOGET et STRAWCZYNSKI 1997) pour engendrer une pollution chronique, agissant de façon subtile sur le taux de survie des espèces. Par exemple, chez les trichoptères du genre *Limnephilus*, le nombre d'individus capables d'émerger de l'eau pour se reproduire, diminue significativement en présence d'un insecticide (le lindane) en très faible (1 ng/l) concentration (SCHULZ et LIESS 1995). Notons enfin que, dans la basse Venoge, des micropolluants provenant des activités industrielles, artisanales et ménagères s'ajoutent à ceux d'origine agricole (VIOGET *et al.* 1995).

Le zoobenthos de la Venoge subit également les effets négatifs d'une urbanisation accrue, surtout à basse altitude (STATZNER et SPERLING 1993). Par exemple, les surfaces de sol imperméables deviennent plus importantes ce qui modifie les débits de crue et d'étiage. De plus, le réseau de canalisations qui conduisent les eaux usées aux stations d'épuration s'étend ce qui augmente l'accumulation des polluants par temps sec et, par conséquent, leur impact sur la rivière après une forte pluie. La densité de la population humaine qui constitue un bon indicateur des impacts liés à l'urbanisation (STATZNER et SPERLING 1993), augmente d'amont en aval dans les communes du bassin versant de la Venoge ($r_s = 0.75$, $n = 41$, $P = 0.000$). La diversité du zoobenthos diminue d'ailleurs en fonction de l'augmentation de la population dans les quatre régions étudiées (fig. 5). Cependant, bien que la densité de la population soit du même ordre de grandeur dans le Veyron et la haute Venoge, la diversité est différente ce qui montre l'influence d'autres facteurs.

La comparaison entre la diversité du zoobenthos dans le Veyron et la basse Venoge (fig. 4) illustre bien l'évolution récente des rivières vaudoises: en amont un objectif de qualité biologique qui est presque atteint; en aval une situation qui ne s'améliore guère, pour des raisons encore mal définies, ceci malgré une épuration des eaux entièrement réalisée. Au cours des années à venir, il faudra faire en sorte que la situation biologique de l'amont s'étende vers l'aval.

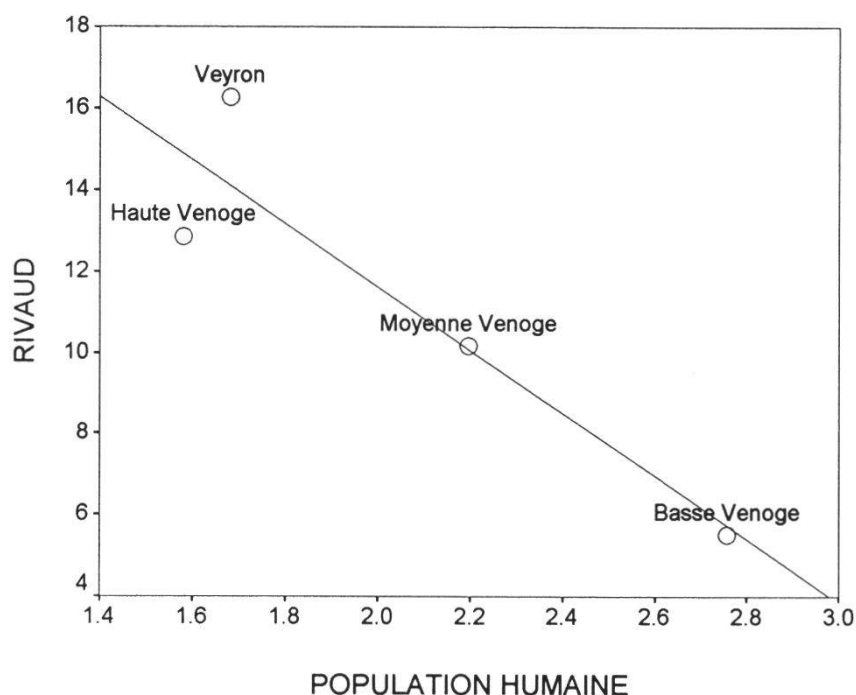


Figure 5.—Relation entre la diversité du zoobenthos (indice RIVAUD: moyenne 1990-1999) et la densité de la population humaine (logarithme du nombre d'habitants par km²) dans quatre régions de la Venoge et du Veyron ($r = -0.93$, $n = 4$, $P = 0.075$).

REMERCIEMENTS

La collaboration d'Olivier Reymond tant sur le terrain qu'en laboratoire m'a permis de mener à bien cette étude. Les commentaires de Bernard Büttiker, de Cornelis Neet, de Jean Perfetta, d'Andres Strawczynski et de Philippe Vioget ont contribué à améliorer ce texte.

BIBLIOGRAPHIE

- ALLAN J.D., 1995. Stream ecology. Chapman et Hall, London. 388 p.
- AUBERT J., 1984. L'atlas des Plécoptères de Suisse - Influence de la pollution. *Ann. de Limnologie* 20: 17-20.
- CORVI C. et KHIM-HEANG S., 1997. Surveillance des produits phytosanitaires dans les eaux des affluents du bassin lémanique, campagne 1995-1996. Rapport comm. intern. protection des eaux du Léman contre la pollution: 125-144.
- FIAUX J.-J., VALLIER R. et VIOGET Ph., 1999. Stations d'épuration, bilans 1998. Service des eaux, sols et assainissement, CH-1066 Epalinges.
- FORE L.S., KARR J.R. and WISSEMAN R.W., 1996. Assessing invertebrate response to human activities: evaluating alternative approaches. *J. North Amer. Benth. Soc.* 15: 212-231.
- FURSE M.T., MOSS D., WRIGHT J.F. and ARMITAGE P.D., 1984. The influence of seasonal and taxonomic factors on the ordination and classification of running-water sites in Great Britain and on the prediction of their macro-invertebrate communities. *Freshwater Biology* 14: 257-280.
- GRUBAUGH J.W. and WALLACE J.B., 1995. Functional structure and production of benthic community in a Piedmont river: 1956-1957 and 1991-1992. *Limnology and Oceanography* 40: 490-501.

- HELLAWELL J.M., 1986. Biological indicators of freshwater pollution and environmental management. Elsevier Applied Science Publisher, London and New York. 546 p.
- HYNES H.N.B., 1975. The stream and its valley. *Verhandl. intern. Verein. für theor. und angew. Limnologie* 19: 1-15.
- LANG C., 1996. Qualité de l'environnement indiquée par la diversité du zoobenthos dans les rivières de montagne: campagnes 1985-1995. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.* 84.2: 125-137.
- LANG C., 1997. Qualité biologique de 37 rivières vaudoises en 1996 indiquée par la diversité du zoobenthos. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.* 84.4: 323-332.
- LANG C., 1998. Qualité biologique de 29 rivières vaudoises en 1997 indiquée par la diversité du zoobenthos. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.* 86.1: 61-71.
- LANG C., 2000. Diversité du zoobenthos dans 47 rivières vaudoises: tendance 1989-1997. *Revue suisse de Zoologie* 107 (1): 107-122.
- LANG C. et REYMOND O., 1993. Empirical relationships between diversity of invertebrate communities and altitude in rivers: application to biomonitoring. *Aquatic Sciences* 55: 188-196.
- LANG C. et REYMOND O., 1995. An improved index of environmental quality for Swiss rivers based on benthic invertebrates. *Aquatic Sciences* 57: 172-180.
- ORAND A. et GAGNAIRE J., 1999. Bilan des apports par les affluents au Léman et au Rhône à l'aval de Genève. Rapport comm. intern. protection des eaux du Léman contre la pollution: 111-127.
- PPV 1995. Plan de protection de la Venoge. Service de l'aménagement du territoire. Département des travaux publics, de l'aménagement et des transports du canton de Vaud.
- RIBAUT J.P., 1966. Les poissons des cours d'eau du canton de Vaud (Suisse). *Mém. Soc. vaud. Sc. nat.* 87: 69-128.
- REYMOND O., 1995. Surveillance biologique des cours d'eau: matériel et méthode pour trier les prélèvements d'invertébrés. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.* 83.3: 209-215.
- SCHULZ R. and LIESS M., 1995. Chronic effects of low insecticide concentrations on freshwater caddisfly larvae. *Hydrobiologia* 299: 103-113.
- STATZNER B. and SPERLING F., 1993. Potential contribution of system specific knowledge (SSK) to stream management decision: ecological and economic aspects. *Freshwater Biology* 29: 313-342.
- TACHET H., BOURNAUD M. et RICHOUX Ph., 1980. Introduction à l'étude des macro-invertébrés des eaux douces. Université de Lyon. 156 p.
- VIOGET Ph., PELLATON J. F., BÜTTIKER B., BONDIETTI G., ETOURNAUD A., MEIER P. et STRAWCZYNSKI A., 1995. Contaminants dans les poissons des rivières vaudoises: synthèse des résultats 1989-1994. Rapport du groupe de travail interdépartemental. SESA, Epalinges.
- VIOGET Ph. et STRAWCZYNSKI A., 1997. Phytosanitaires dans les cours d'eau vaudois du bassin du Léman. Note du service des eaux et de la protection de l'environnement, 1066 Epalinges.
- WRIGHT J.F., MOSS D. and FURSE M.T., 1998. Macroinvertebrate richness at running-water sites in Great Britain: a comparison of species and family richness. *Verhandl. der intern. Verein. für theor. and angew. Limnologie* 26: 1174-1178.

Annexe 1.–Fréquence relative (%) des taxons identifiés entre 1990 et 1999 dans la Venoge et le Veyron: (1) ensemble des 351 prélèvements, (2) 180 prélèvements amont (stations 1 à 9, fig. 1), (3) 171 prélèvements aval (stations 10 à 18). L'astérisque signale les taxons sensibles aux pollutions.

Taxons	Fréquence			Taxons	Fréquence		
	1	2	3		1	2	3
TURBELLARIA				Perlidae*			
Dendrocoelum	1	0	1	Perla*	6	12	0
Polycelis	41	49	33	Dinocras*	1	1	0
Dugesiiidae				ODONATA			
Dugesia	13	20	6	HETEROPTERA			
Oligochaeta	99	99	99	PLANIPENNIA			
HIRUDINEA				Osmylidae			
Glossiphonidae				Osmylus			
Helobdella	2	1	4	MEGALOPTERA			
Glossiphonia	5	0	11	Sialidae			
Erpobdellidae				Sialis	1	2	1
Erpobdella	37	28	46	COLEOPTERA			
MOLLUSCA				Gyrinidae			
Hydrobiidae				Dytiscidae	1	1	1
Ancylidae	14	12	16	Haliplidae	1	1	1
Limnaeidae	8	2	15	Hydrophilidae	1	1	0
Sphaeriidae	8	11	5	Helodidae	9	18	0
Physidae				Eubridae			
Bythinellidae	1	0	2	Dryopididae	1	0	1
Bithyniidae				Hydraenidae			
HYDRACARINA	62	65	69	Hydraena	37	49	24
CRUSTACEA				Ochthebius			
Gammaridae	97	95	99	Elmidae			
Asellidae	5	1	8	Elmis	60	59	61
EPHEMEROPTERA				Esolus	33	51	15
Ephemeridae				Limnius	61	71	50
Ephemera	2	4	0	Normandia			
Heptageniidae				Riolus	38	34	41
Epeorus*	72	85	58	Oulimnius			
Rithrogena*	38	64	12	Dupophilus	1	1	0
Ecdyonurus*	32	43	20	TRICHOPTERA			
Heptagenia*				Rhyacophilidae	82	88	77
Caenidae				Glossosomatidae*	5	9	0
Caenis	1	0	1	Hydroptilidae*	12	3	22
Baetidae	99	98	99	Hydropsychidae	87	84	91
Ephemerellidae				Philopotamidae	1	0	1
Ephemerella	29	28	30	Polycentropidae	6	9	2
Torleya	1	1	0	Psychomiidae	20	30	10
Leptophlebiidae				Phryganeidae*			
Habrophlebia	42	57	27	Limnephilidae*	46	78	13
Habroleptoides	30	52	6	Drusinae*			
Paraleptophlebia	1	2	0	Goeridae*	1	1	0
PLECOPTERA				Beraeidae*	1	0	1
Taeniopterygidae				Odontoceridae*	49	68	28
Taeniopteryx*				Sericostomatidae*	3	5	1
Brachyptera*	33	55	10	Lepidostomatidae*			
Rhabdiopteryx*	1	1	0	Leptoceridae*			
Nemouridae				DIPTERA			
Amphinemura*	33	56	9	Blephariceridae			
Protonemura*	13	26	0	Tipulidae	20	14	27
Nemoura*	26	48	2	Limonidae	83	90	76
Leuctridae	48	72	22	Psychodidae	38	48	27
Leuctra*				Simuliidae	89	94	82
Capniidae	2	4	0	Chironomidae	99	99	98
Capnia*				Ceratopogonidae	55	51	60
Capnioneura*				Stratiomyidae	5	4	6
Chloroperlidae*	6	12	0	Empididae	68	70	66
Chloroperla*				Dolicopodidae	1	1	1
Perlodidae*	1	2	0	Athericidae	53	82	22
Isoperla*	14	27	0	Dixidae			
Perlodes*	5	11	0	Anthomyidae	2	2	2
Perlodidae gen.*	1	2	0	Tabanidae	1	0	2
				Sciomyzidae			

Annexe 2.–Calcul de la valeur de l'indice RIVAUD à partir du nombre total de taxons (NT) et du nombre de taxons sensibles aux pollutions (NTS). La valeur de RIVAUD se lit à l'intersection de la ligne renfermant la valeur de NT et de la colonne où se trouve la valeur de NTS. Exemple: NT = 19, NTS = 7, RIVAUD = 11. Source: LANG et REYMOND (1995).

NT	NTS										
	0	1	2	3	4	5	6-7	8-9	10-11	12-13	14-25
1-4	1	2	3	4	5	-	-	-	-	-	-
5-8	2	3	4	5	6	7	8	9	-	-	-
9-12	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	-
13-16	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
17-20	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
21-24	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
25-28	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
29-32	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
33-36	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
37-50	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

Qualité biologique mauvaise (RIVAUD 1-5), faible (6-9), médiocre (10-11), moyenne (12-14), bonne (15-20).