

## **QUALITÉ BIOLOGIQUE DES COURS D'EAU DU BASSIN VERSANT LÉMANIQUE**

### **BIOLOGICAL QUALITY OF THE WATERCOURSES IN THE CATCHMENT BASIN OF LAKE GENEVA**

**Campagnes 1998 - 2004**

PAR

**Sandra KNISPEL**

SERVICE DES EAUX, SOLS ET ASSAINISSEMENT, DIVISION LABORATOIRE,  
155, chemin des Boveresses, CH - 1066 ÉPALINGES

**Audrey KLEIN**

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

**Marc BERNARD**

SERVICE CANTONAL DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT  
5, rue des Creusets, CP 405, CH - 1951 SION

**Charles BORNARD et Françoise GIFFARD**

DIREN RHÔNE-ALPES, 208 bis rue Garibaldi, FR - 69422 LYON CEDEX 03

**Jean PERFETTA**

SERVICE CANTONAL DE L'ÉCOLOGIE DE L'EAU  
23, avenue Sainte-Clothilde, CP 78, CH - 1211 GENEVE 8

**Claire RATOUIS**

DIREN RHÔNE-ALPES, SERVICE DE L'EAU ET DES MILIEUX AQUATIQUES  
13, quai de Rives, FR - 74200 THONON-LES-BAINS

#### **RÉSUMÉ**

*La surveillance de la qualité biologique des cours d'eau est effectuée depuis plus de 20 ans par les différentes entités administratives concernées. Pour représenter de manière comparable la qualité biologique des rivières dans tout le bassin lémanique, une approche commune a été adoptée ici et rendue possible par l'utilisation d'une même méthode, l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN).*

*L'évaluation de la qualité biologique est fondée sur le principe général selon lequel chaque type de milieu naturel possède une communauté d'organismes (biocénose) caractéristique. Tout appauvrissement de la biocénose naturelle traduit donc une perturbation.*

*Globalement, 68 % des 376 stations étudiées présentent une qualité biologique bonne à très bonne. Les stations ayant la meilleure qualité biologique sont situées de manière générale sur les tronçons amont des cours d'eau, en tête de bassin versant. 32 % des stations sont cependant de qualité insatisfaisante et sont le plus souvent situées vers l'aval des cours d'eau, signe des effets néfastes de certaines activités humaines sur la biologie des cours d'eau : réductions de débit, interventions sur le milieu physique, détérioration de la qualité chimique de l'eau.*

*Ces perturbations peuvent avoir lieu simultanément et cumulent ainsi leurs impacts sur la qualité biologique des milieux aquatiques. De ce fait, ces trois aspects (quantité, milieu physique, qualité) doivent être pris en compte simultanément pour envisager une amélioration de la qualité biologique d'un cours d'eau.*

#### **ABSTRACT**

*The biological quality of the watercourses has been monitored for more than 20 years by the various relevant administrative bodies. In order to make it possible to obtain comparable records of the biological quality of the rivers throughout the catchment basin of Lake Geneva, a joint approach has been adopted here, made possible by using the same method: the Indice Biologique Global Normalisé (IBGN) or Standard Global Biological Index.*

*The assessment of the biological quality is based on the general principle according to which each type of natural medium has its own characteristic community of organisms (or biokenosis). Any depletion of the natural biokenosis therefore indicates that some disturbance has occurred.*

*Overall, 68% of the 376 stations studied were found to have good to very good biological quality. The stations with the best biological quality are generally located on the upstream sections of the watercourses, at the head of the catchment basin. However, at 32% of the stations the water quality was unsatisfactory, and these were usually located in the downstream segment of the watercourses. This reflects the harmful impact of certain human activities on the biology of watercourses : reduced water flow, activities that affect the physical medium, and lead to deterioration of the chemical quality of the water.*

*Several such disturbances can occur simultaneously, and produce cumulative impacts on the biological quality of the aquatic media. As a result, these three aspects (quantity, physical medium, quality) must be taken into account simultaneously if any attempt is to be made to improve the biological quality of a watercourse.*

## 1. INTRODUCTION

Certaines activités humaines provoquent des perturbations dans les cours d'eau par des pollutions (rejets de substances toxiques ou fertilisantes, réchauffement des eaux) et par l'altération de leur caractère naturel (canalisation, captages, imperméabilisation des sols, etc). Alors que l'analyse physico-chimique recherche les causes des perturbations, la démarche biologique étudie les effets des perturbations sur les organismes. L'évaluation de la qualité biologique est fondée sur le principe général selon lequel chaque type de milieu naturel possède une communauté d'organismes (biocénose) caractéristique et qui change avec la qualité du milieu. Tout appauvrissement de la biocénose naturelle traduit donc une perturbation.

Dans les différentes entités politiques constituant le bassin versant du Léman, la qualité biologique globale des cours d'eau est exprimée par un indice qui intègre la diversité et la polluo-sensibilité des invertébrés vivant sur le fond du cours d'eau, aussi appelés macrofaune benthique. Ceux-ci sont soumis tout au long de leur vie aquatique aux variations du milieu où ils vivent (physico-chimie, hydrologie, écomorphologie...) et ils intègrent donc la qualité globale de l'écosystème sur une durée pouvant atteindre plusieurs mois. Cette approche biologique permet de représenter l'état des cours d'eau à l'échelle de l'ensemble du bassin lémanique en identifiant les perturbations du milieu par leur effet sur la faune aquatique. L'identification des causes de ces perturbations nécessite une approche physico-chimique complémentaire ainsi qu'une bonne connaissance globale et pluridisciplinaire de l'écosystème et de son bassin versant.

L'analyse biologique des cours d'eau lémaniques est effectuée à intervalle variable de quelques années selon les entités. Les données retenues sont les plus récentes disponibles (allant jusqu'à 2004) et prennent en compte toutes les stations étudiées dans le bassin lémanique. L'approche commune retenue ici permet de disposer de résultats comparables et représentatifs qui seront discutés à l'échelle du bassin versant.

## 2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 2.1 Le bassin versant lémanique

La zone géographique concernée par la CIPEL comprend le bassin versant du Rhône jusqu'à la frontière franco-suisse de Chancy, soit le Rhône et le Léman ainsi que tous leurs affluents. Ce bassin a une superficie totale (lac compris) de 10'299 km<sup>2</sup> et une altitude moyenne de 1'580 m. Le débit moyen du Rhône (à Chancy) est de 343 m<sup>3</sup>/s et le débit spécifique de 32.2 L/s.km<sup>2</sup> (Annuaire hydrologique de la Suisse, 2003 ; CIPEL, 1984).

Une partie importante des eaux du Léman provient des Alpes, qui forment le relief à l'est et au sud du bassin lémanique où il culmine à 4'600 m. Le Jura, qui borde le bassin lémanique au nord culmine à 1723 m d'altitude. L'exutoire du bassin versant du Léman se situe à 330 m. Le bassin étudié ici présente donc un large éventail de types de cours d'eau et de régimes hydrologiques, depuis les torrents à régime glaciaire ou glacio-nival jusqu'aux cours d'eau de plaine à régime nivo-pluvial ou pluvial (HALLER et al., 2004).

Afin de regrouper les milieux aquatiques de caractéristiques naturelles similaires (relief, géologie, climat, géochimie des eaux et débit), le CEMAGREF (Lyon) distingue plusieurs hydroécorégions (HER) (WASSON, et al., 2001-2002). Le bassin lémanique comprend ainsi deux hydroécorégions : le **Jura-Préalpes du Nord** et les **Alpes internes**.

### 2.2 Approche commune

La surveillance de la qualité biologique des cours d'eau est effectuée depuis plus de vingt ans par les différentes entités administratives concernées (France : départements de l'Ain et de la Haute-Savoie ; Suisse : cantons de Genève, Valais et Vaud). Cependant, des disparités méthodologiques régionales existent (voir chapitre 2.3 ci-dessous), dues aux moyens disponibles des structures administratives, à des objectifs différents, ainsi qu'au contexte hydrologique, hydrographique et topographique très hétérogène à l'échelle du bassin lémanique.

Aussi, pour représenter de manière comparable la qualité biologique des rivières dans tout le bassin lémanique, une approche commune a dû être adoptée ici. Cette démarche est rendue possible par l'utilisation d'une même méthode par toutes les entités administratives, l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN) qui fait l'objet d'une normalisation en France (AFNOR NFT 90-350). Les entités insistent toutes sur la nécessité d'une période de stabilité des conditions hydrologiques d'environ 15 jours précédant le prélèvement.

**Pour chaque station d'étude, seule l'année la plus récente pour laquelle des données sont disponibles a été retenue.**

Lorsque plusieurs prélèvements ont été effectués au cours de la même année, seuls les indices IBGN établis durant **les périodes favorables** (cercles sur la figure 1), correspondant aux meilleures conditions de développement de la faune benthique, mais différentes selon le régime hydrologique (voir ci-dessous), ont été retenus pour le calcul d'une valeur moyenne.

Certaines stations disposent d'un unique indice IBGN à l'étiage, en période défavorable. C'est le cas pour le Foron du Chablais genevois, la Menoge, et les petits affluents du Léman entre l'Hermance et Thonon du contrat de rivière du sud-ouest lémanique.

Ces valeurs n'ont bien sûr pas la même signification mais sont indiquées à titre d'information sur la figure 1 par un triangle, plutôt que de ne donner aucune information sur ces cours d'eau.

Les notes IBGN, comprises entre 1 et 20, peuvent être attribuées à cinq classes de qualité biologique (mauvaise, médiocre, moyenne, bonne, très bonne) représentées par des couleurs. Les valeurs seuils de ces classes de qualité ont été adaptées aux hydroécocorégions (cf. § 2.1 et tableau 1). Il en découle un ajustement des classes de qualité en fonction de ces caractéristiques naturelles (voir ci-dessous). Ainsi, vu le caractère naturellement plus rude des cours d'eau des Alpes internes, les limites sont plus basses que celles du Jura et Préalpes du Nord, elles-mêmes plus basses que les limites de classes de la grille de qualité de l'IBGN (AFNOR, 1992).

Tableau 1 : Limites de classes de la grille de qualité de l'IBGN adaptées aux hydroécocorégions (HER).

Table 1 : Class limits of the IBGN quality grid adjusted for the various hydroecoregions.

HER Alpes internes				
≥ 13	12 - 10	9 - 7	6 - 4	3 - 1
HER Jura-Préalpes du Nord				
≥ 15	14 - 12	11 - 8	7 - 4	3 - 1
Grille IBGN Norme AFNOR NF-T90-350				
≥ 17	16 - 13	12 - 9	8 - 5	4 - 1

Pour le canton de Vaud, les résultats des années 2001 à 2004 ont été utilisés. Deux périodes de prélèvement ont été retenues : fin de l'hiver et début du printemps pour le Jura et le Plateau ; fin de l'hiver et début de l'automne pour les Préalpes.

Pour les cantons de Genève et du Valais, ainsi que pour les départements de l'Ain et de la Haute-Savoie, les résultats des années 1998 à 2004 ont été utilisés. La période favorable à la faune concerne : pour le canton de Genève, la fin de l'hiver et le printemps ; pour le Valais, début mars, avant la fonte des neiges et fin octobre à l'étiage; pour l'Ain et la Haute-Savoie, la période de basses eaux hivernales et le printemps. A noter que pour la Haute-Savoie, la période défavorable correspond à l'étiage estival et aux basses eaux hivernales.

Les stations du bassin lémanique sont caractérisées par leur altitude (m) et leur hydroécocorégion (HER). Les stations sont groupées en 10 catégories altitudinales qui regroupent chacune 10% des stations.

## 2.3 Méthodes de suivi dans les différentes régions

### France

#### Programme et but du suivi

Les données biologiques acquises sur les cours d'eau français du bassin versant du Léman proviennent essentiellement de deux types de recueil des données :

- a. **Le réseau national de Bassin (RNB)** : toutes les investigations sur ces stations sont effectuées tous les ans ou tous les 2 ans.
- b. **Les suivis de qualité des eaux par bassins versants départementaux** : pour ces opérations, le recueil des données se fait dans le cadre d'un diagnostic et / ou d'un bilan, aussi la période de retour n'est pas homogène par bassin versant. L'objectif est essentiellement de rendre compte de l'état de perturbations des cours d'eau. C'est donc la valeur la plus déclassante entre celle du Groupe Faunistique Indicateur (AFNOR, 1992) et celle de l'IBGN qui est prise en considération.

#### Choix des sites

La plupart des stations sont situées sur des secteurs perturbés, notamment à l'aval de rejets importants. Certains points ferment les bassins versants et peuvent révéler une qualité synthétisant l'ensemble des événements amont, sauf si une perturbation est située en amont de ce point. Chaque bassin versant comprend au minimum un point de référence sur le secteur amont du bassin.

### ***Périodes de prélèvements***

Dans le cadre du réseau RNB, il est en principe envisagé une campagne à la période favorable à la faune et une campagne à la période la plus défavorable correspondant au débit minimum et au maximum de pollution.

Dans le cadre des études de bassin versant, on retient au minimum une campagne à la période la plus défavorable. Plusieurs campagnes peuvent être effectuées si le bassin versant présente des chroniques de données antérieures incluant plusieurs passages.

### ***Méthode de prélèvement***

Les prélèvements sont effectués suivant le protocole normatif de l'IBGN NF-T90-350 (AFNOR, 1992).

### ***Traitement des données et rapports de synthèse***

Les classes de qualité sont établies par l'expression d'un écart de la valeur mesurée avec une valeur de référence, qui n'est pas forcément 20 pour l'IBGN et 9 pour le GFI. Ces valeurs de référence résultent d'un travail scientifique pour répondre aux exigences de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau (Directive 2000/60/CE), qui préconise la mesure d'un écart par rapport à une référence.

Les résultats sont consignés dans les rapports annuels du RNB et tous les 6 ans environ, l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée & Corse et la DIREN Rhône-Alpes élaborent un document départemental intitulé "carte départementale de la qualité des cours d'eau". Dans ce document sont également compilés des résultats d'études d'impact effectuées dans la période considérée.

## **Canton de Genève**

### ***Programme et but du suivi***

L'évaluation de la qualité biologique est intégrée depuis plus de vingt ans dans le programme de surveillance des cours d'eau du bassin hydrographique genevois. Celui-ci a pour objectifs principaux de vérifier le respect de la législation en matière de protection des eaux et de fournir des éléments scientifiques pour la planification et la gestion de l'assainissement des eaux et le programme cantonal de renaturation des cours d'eau.

### ***Périodes de prélèvements***

Quatre campagnes sont effectuées sur une année, soit une par saison, en principe en février, mai, août et novembre.

### ***Choix des sites***

Afin de couvrir l'ensemble du bassin genevois, les cours d'eau ont été répartis en 6 secteurs hydrographiques comprenant chacun une vingtaine de stations dont, dans la mesure du possible, une station de référence non perturbée. Les stations sont réparties de façon à évaluer les effets des activités humaines. Chaque secteur est étudié pendant une année, soit en principe tous les six ans.

### ***Méthodes de prélèvements***

Les prélèvements sont effectués suivant le protocole normatif de l'IBGN NF-T90-350 (AFNOR, 1992). A noter que pour le Rhône et l'Arve, les prélèvements sont effectués à l'aide de substrats artificiels (paniers remplis de galets) immergés pendant 6-8 semaines. L'indice calculé sur la base de ces prélèvements ne suit donc pas la procédure normalisée et doit être considéré comme un IBG (Indice Biologique Global).

### ***Traitement des données et rapports de synthèse***

La qualité biologique globale est exprimée par 4 IBGN saisonniers et un IBGN annuel moyen. Les notes indiciaires sont généralement commentées en fonction des groupes indicateurs et des classes de diversité observées.

Chaque secteur fait l'objet d'un rapport de synthèse regroupant les résultats les plus récents sur l'état des cours d'eau (physico-chimie, biologie, hydrologie, écomorphologie, etc) et décrit l'évolution depuis l'étude précédente. Ces rapports sont disponibles auprès du Service cantonal de l'écologie de l'eau (SECOE), ou sur internet <http://etat.geneve.ch/diae/site/eau>.

## **Canton du Valais**

### ***Programme et but du suivi***

Le service de la protection de l'environnement du canton du Valais collecte des données hydrobiologiques depuis 1990 selon la méthode IBGN. Ces données sont couplées à des analyses physico-chimiques et bactériologiques, permettant de suivre l'état de la qualité des eaux des rivières du Valais.

De 1990 à 1993, les prélèvements et analyses ont été réalisés en amont et en aval des principaux affluents et le long du Rhône (BERNARD et al., 1994). Depuis 1994, les résultats hydrobiologiques proviennent d'investigations menées par bassins versants latéraux ou sur des tronçons de Rhône. Chaque bilan par bassin versant fait l'objet d'un rapport de synthèse.

### **Choix des sites**

Les stations d'études sont choisies le long du cours d'eau, celles en amont devant servir de référence, les autres caractérisant des tronçons représentatifs ou cherchant à quantifier des atteintes à la rivière : captages, rejets, corrections, déficits autres, etc.

### **Périodes de prélèvements**

Deux prélèvements sont réalisés à l'étiage. Le régime hydrologique des cours d'eau du Valais étant majoritairement glaciaire ou glacio-nival, la période d'étiage se situe généralement de fin octobre à fin mars.

### **Méthodes de prélèvements**

Depuis 1992, la méthode IBGN est appliquée selon le protocole normatif de l'IBGN NF T90-350, (AFNOR, 1992). Avant cette date, l'indice en test pour la normalisation de la méthode était utilisé. Pour le Rhône, seuls certains prélèvements entre Riddes et St-Maurice ont fait l'objet en 2000 d'un échantillonnage sur substrat artificiel.

### **Traitement des données et rapport de synthèse**

Les échantillons substrat-vitesse sont traités indépendamment les uns des autres pour permettre une analyse plus fine. Les données hydrobiologiques et environnementales sont enregistrées sur une base de données BDHydrobio-VS. Le rapport de synthèse dresse l'état du bassin versant : surfaces, réseau hydrographique, interventions humaines, etc. Il reprend les résultats de l'ensemble des campagnes avec interprétation des analyses physico-chimiques, bactériologiques et biologiques. Il interprète les résultats selon des classes de qualité et affiche ceux-ci sur une ou plusieurs cartes. Il confronte les résultats avec les données antérieures existantes. Un traitement statistique des données hydrobiologiques acquises entre 1990 et 1997 a pu être réalisé (BERNARD, 2001).

## **Canton de Vaud**

### **Programme et but du suivi**

Une centaine de stations étudiées sur une trentaine de rivières dans le cadre du suivi biologique des cours d'eau vaudois, sont situées dans le bassin versant lémanique. Elles sont échantillonnées tous les 3 ans suivant une rotation par région (Jura, Plateau, Préalpes). Le réseau de surveillance vaudois a été mis en place à la fin des années 1980 afin de mettre en évidence le potentiel faunistique des cours d'eau. Cet objectif a guidé le choix des sites d'étude et de la période d'échantillonnage. Cette approche a été valorisée au niveau cantonal avec le développement de l'indice RIVAUD (LANG et REYMOND, 1995).

### **Choix des sites**

Les stations d'étude ont été choisies afin de refléter la situation générale de la rivière plutôt que des conditions purement locales (LANG, 2001). Les tronçons situés juste en aval d'un rejet polluant ou dans une zone fortement altérée sont évités. Cependant les stations sont réparties sur l'ensemble du réseau hydrographique vaudois et reflètent ainsi également les changements de la qualité biologique le long des cours d'eau.

### **Périodes de prélèvements**

Dans le Jura et sur le Plateau, deux prélèvements sont effectués par année, à la fin de l'hiver et au cours du printemps, correspondant aux périodes de forte potentialité faunistique. Dans les Préalpes, un troisième échantillon est prélevé au début de l'automne, après les crues estivales (fonte de glace). Certaines stations ont exceptionnellement été échantillonnées une seule fois.

### **Méthodes de prélèvements**

Jusqu'en 2001, les prélèvements étaient effectués suivant LANG et REYMOND (1995) dans des " zones de cailloux " (ex. LANG, 2000). Depuis 2002, le protocole correspond à celui de l'IBGN avec 8 prélèvements par station, représentatifs des combinaisons de substrat-vitesse présentes dans la station.

### **Traitement des données et rapport de synthèse**

Les indices IBGN (AFNOR, 1992) peuvent être calculés pour chaque prélèvement. L'indice RIVAUD (LANG et REYMOND, 1995) est calculé pour l'année en cumulant les listes faunistiques des prélèvements afin de caractériser le potentiel biologique de la station. L'évolution de la qualité biologique des rivières vaudoises a été décrite dans de nombreuses publications (ex. LANG 2000) et synthétisée par LANG (2001).

Un rapport tout public mis à jour avec les nouvelles données est accessible sur internet <http://www.dse.vd.ch/eaux/eaux/qualite/documentation.htm>.

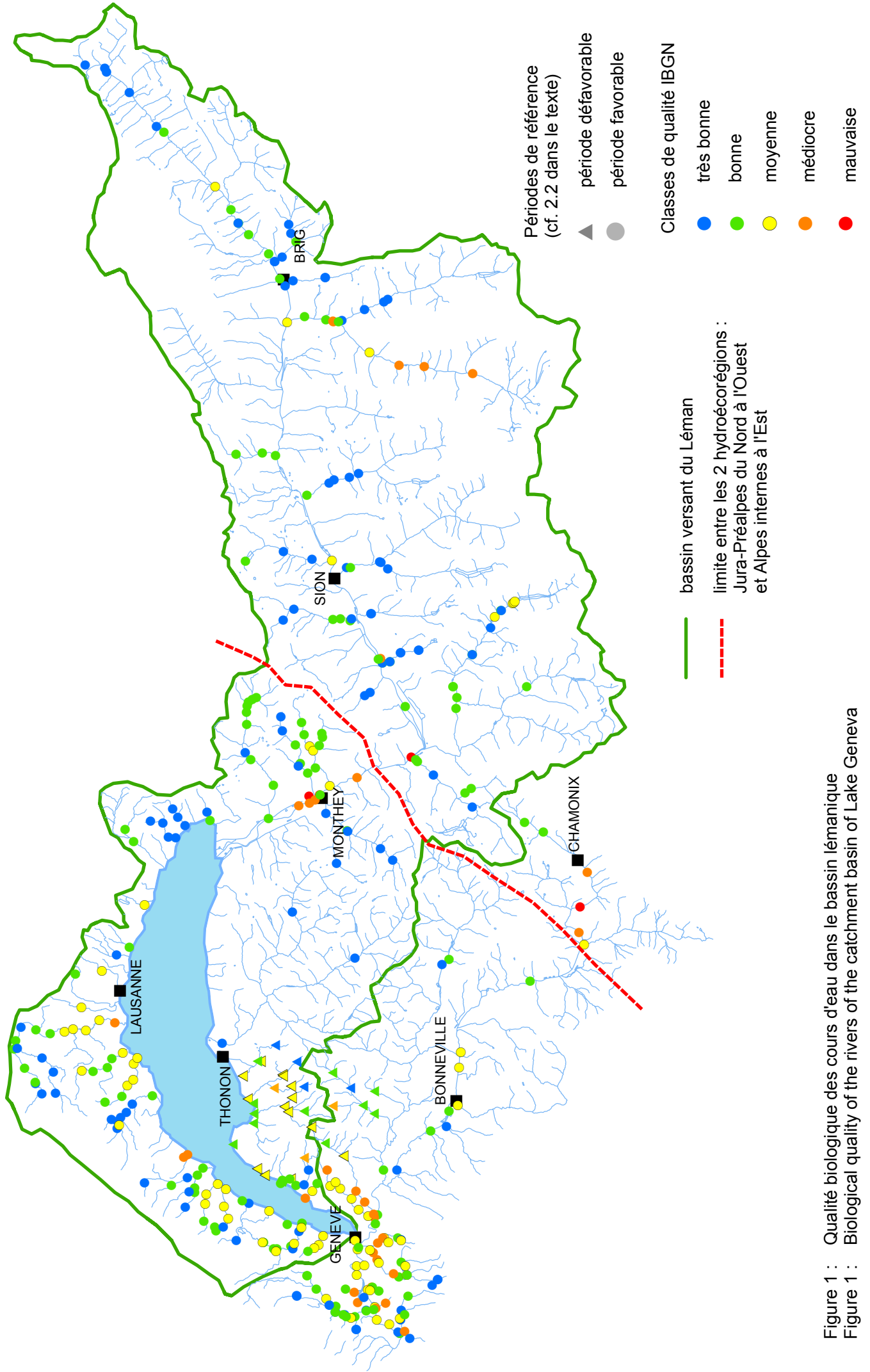


Figure 1 : Qualité biologique des cours d'eau dans le bassin lémanique

Figure 1 : Biological quality of the rivers of the catchment basin of Lake Geneva

### 3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

#### 3.1 Qualité biologique des cours d'eau du bassin versant du Léman

Le réseau de surveillance et les études spécifiques menées sur la qualité biologique globale des affluents du Léman et du bassin du Rhône aval permettent de comptabiliser actuellement 376 stations d'étude. 109 d'entre elles sont situées en Valais, 102 dans le canton de Vaud, 72 en Haute-Savoie, 70 dans le canton de Genève et 23 dans le Pays de Gex (département de l'Ain).

La figure 2 montre que 68 % des stations présentent une qualité biologique bonne à très bonne. Les stations ayant la meilleure qualité biologique sont situées de manière générale sur les tronçons amont des cours d'eau, en tête de bassin versant (figure 1). 32 % des stations sont cependant de qualité insatisfaisante et sont le plus souvent situées sur les secteurs aval des cours d'eau, signe des effets néfastes des activités humaines sur les biocénoses aquatiques : réductions de débit, interventions sur le milieu physique, détérioration de la qualité chimique de l'eau.

La répartition des résultats pour chaque entité est donnée à la figure 3.

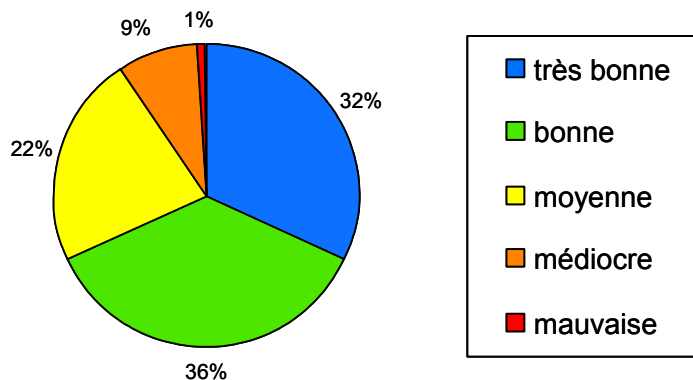


Figure 2 : Répartition des stations étudiées dans le bassin lémanique selon les différentes classes de qualité biologique.

Figure 2 : Distribution of the stations studied in the Lake Geneva catchment basin according to the various classes of biological quality.

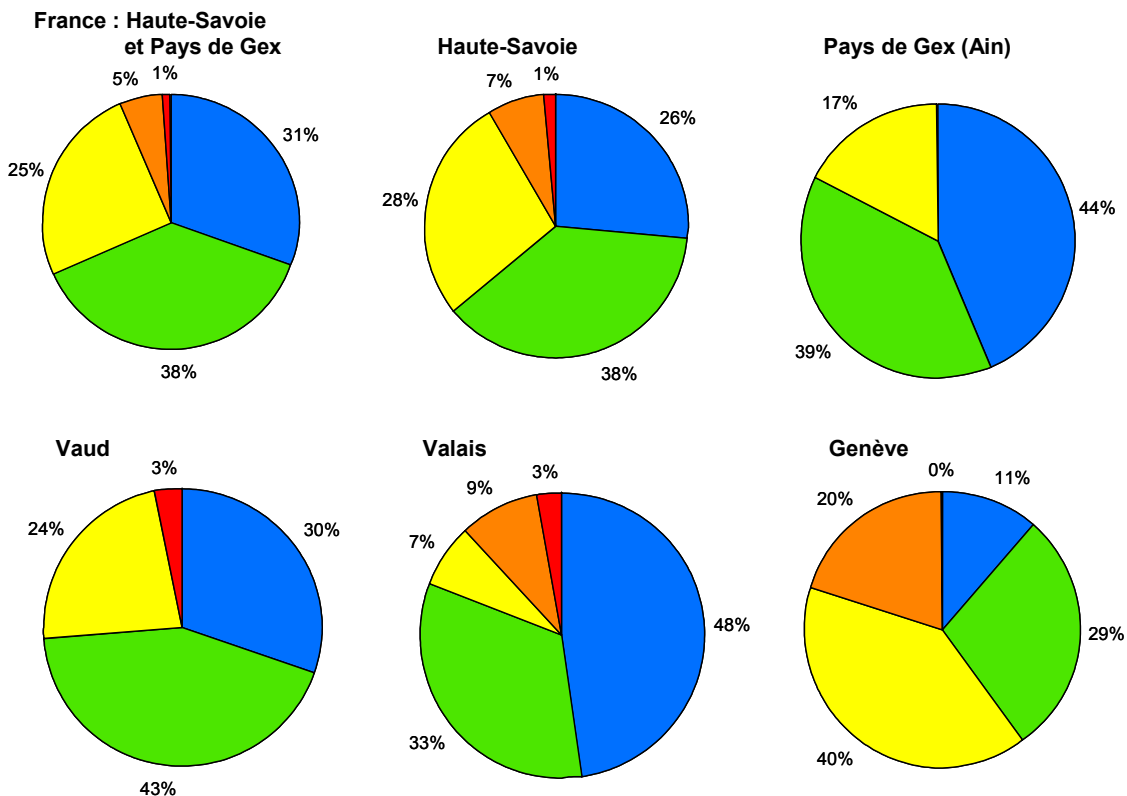


Figure 3 : Répartition des résultats dans les différentes classes de qualité.

Figure 3 : Distribution of the results between the different quality classes.

Ces résultats appellent les commentaires suivants :

### **France**

64 % des stations françaises présentent une qualité biologique bonne à très bonne (figure 3). Près de 30 % des stations situées en Haute-Savoie ont une qualité moyenne et moins de 10 % présentent une qualité médiocre à mauvaise. D'une manière générale, les hauts bassins versants de haute altitude sont les moins perturbés, car ces secteurs présentent des potentialités de récupération plus importantes de par leur richesse faunistique liée à la diversité des habitats, lorsque celle-ci n'est pas affectée par des perturbations physiques tels que des aménagements.

Dans certains secteurs, la qualité physico-chimique est dégradée par des rejets d'eaux usées non ou partiellement épurées, pourtant la qualité hydrobiologique reste bonne grâce au milieu physique en très bon état. La comparaison avec des données antérieures souligne des améliorations perceptibles sur certains secteurs de cours d'eau du bassin versant comme l'Arve, grâce au contrat de rivière, ainsi que sur les Dranses.

La qualité biologique médiocre à mauvaise à l'aval de Chamonix est due à une dilution insuffisante du rejet de la STEP dans un tronçon influencé par un aménagement hydroélectrique et soumis à un débit réservé. Sur l'Arve amont, la dégradation de la qualité biologique est due au rejet de la station d'épuration qui s'effectue dans un tronçon court-circuité d'un aménagement hydroélectrique soumis à un débit réservé; il y a donc une dilution insuffisante du rejet.

Dans le Pays de Gex, les secteurs de qualité moyenne représentant 17 % des stations, se situent à l'aval des agglomérations et des rejets des stations d'épuration. La dégradation des cours d'eau concerne davantage la physico-chimie que l'hydrobiologie. Elle est accentuée par une mise en charge des réseaux de collecte des eaux usées lors des événements pluvieux et par les faibles débits d'étiage estivaux. Les chroniques actuelles des données soulignent l'insuffisance de la couverture des secteurs concernés. Les différents réseaux de mesure en cours d'élaboration pour l'application de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCE), devraient contribuer à une meilleure connaissance des milieux aquatiques et donc à une amélioration des outils de gestion des cours d'eau de ce bassin versant.

### **Genève**

Dans le canton de Genève, 40 % des stations présentent une qualité bonne à très bonne et 60 % une qualité moyenne à médiocre (figure 3), avec d'une manière générale, une dégradation de la qualité biologique d'amont en aval (figure 1). Cette situation illustre l'augmentation de la pression humaine, qui se manifeste essentiellement dans 3 domaines :

- la gestion et le traitement des eaux usées d'origine industrielle et domestique, encore trop souvent rejetées dans les cours d'eau non ou partiellement épurées (stations d'épuration vétustes ou sous-dimensionnées, déversoirs d'orage mal réglés, mauvais branchements, etc). Cet impact est particulièrement fort sur les petits cours d'eau subissant un étiage prolongé, comme l'Aire ou la Drize;
- l'urbanisation et l'imperméabilisation des sols, qui modifient le régime hydrologique des cours d'eau, les phénomènes météorologiques qui augmentent la fréquence et l'amplitude des épisodes de crue et une dégradation de l'écomorphologie par des aménagements du cours (endiguements, canalisations, mise sous terre, etc). Le Nant d'Avril qui coule à proximité de la ville de Meyrin et de la zone industrielle Meyrin-Satigny, est caractéristique de cette situation;
- les pratiques agricoles dont les conséquences pour les biocénoses aquatiques peuvent être importantes, en particulier à l'aval de vignobles et de zones agricoles de cultures intensives sous serre. Ainsi, des concentrations en herbicides 200 fois supérieures à l'exigence de l'OEaux (1998) ont été mesurées dans le ruisseau du Châtelet, qui draine une zone viticole.

Les outils mis en place pour améliorer la situation au niveau cantonal sont d'une part, une planification intégrée de la gestion des eaux : Schémas de Protection, d'Aménagement et de Gestion des eaux (SPAGE) et Plans généraux/régionaux d'évacuation des eaux (PGEE / PREE); d'autre part la poursuite du programme cantonal de renaturation des cours d'eau et des rives du département de l'intérieur, de l'agriculture et de l'environnement (DIAE) ainsi que la mise en place de mesures de sensibilisation et d'encouragement à une agriculture respectueuse de l'environnement.

### **Valais**

Plus de 80 % des stations valaisannes présentent une qualité satisfaisante, avec une majorité de stations de très bonne qualité (figure 3). En effet, avec une altitude moyenne de 2'130 m, les 2/3 de la surface du bassin rhodanien en amont du Léman se situent au-dessus de la limite supérieure de la forêt, permettant le développement d'une faune benthique de bonne qualité. Les données hydrobiologiques et la représentation cartographique montrent en général une diminution de la qualité biologique des cours d'eau d'amont en aval, à l'exception de la Matter Vispa et de la Vispa.

Le régime hydrologique naturel des principaux cours d'eau est de type glacio-nival. Les débits d'étiage s'observent en hiver (entre octobre et mars) et les hautes eaux en été (juin à août). Les débits estivaux représentent 80% des écoulements annuels et s'accompagnent d'un fort charriage de sédiments fins en suspension dû à la fonte glaciaire qui a une influence négative sur la capacité biogénique et la diversité de la faune benthique de ces milieux.

Plus de 250 prises d'eau et 60 aménagements hydroélectriques influencent négativement la qualité hydrobiologique des rivières du canton du Valais. Les captages et concessions accordés avant la loi fédérale sur la protection des eaux de 1992 n'ont, dans la majorité des cas, pas octroyé de débits de dotation en aval des prélèvements. Les réductions de débit, pouvant mettre à sec des tronçons de rivières en période d'étiage ou diminuant les hautes eaux, ont une influence notable sur la qualité des eaux (baisse de la capacité de



dilution et du pouvoir d'autoépuration) et s'accompagnent d'une diminution du charriage et d'une augmentation du colmatage des fonds sur la quasi-totalité du réseau hydrographique.

Malgré d'importants efforts en matière d'assainissement au cours des 15 dernières années, avec un taux de raccordement et un traitement des eaux usées atteignant actuellement 95 %, on constate encore une dégradation de la qualité physico-chimique influençant la qualité biologique des cours d'eau. Les captages privent les cours d'eau d'une capacité de dilution suffisante qui permettrait le maintien d'une bonne qualité des eaux en aval des rejets de STEP (Matter Vispa : rejets de la station touristique de Zermatt ; Dala : rejets de la station touristique et thermale de Leukerbad ; Saaser-Vispa : rejets de la STEP de Saas Balen).

Les Plans Généraux d'Evacuation des Eaux (PGEE) actuellement en cours devraient permettre d'améliorer encore la qualité des eaux. Les investigations et études menées sur l'ensemble des bassins versants du canton du Valais dans le cadre de l'assainissement des cours d'eaux en aval des captages devraient apporter des mesures d'amélioration substantielles des débits résiduels et des purges et vidanges au niveau des nombreux captages.

### **Vaud**

Les cours d'eau vaudois du bassin lémanique présentent une qualité biologique satisfaisante dans 3/4 des stations étudiées (figure 3).

La plupart des cours d'eau prenant leur source dans les Préalpes (de la Veveyse à l'Avançon) présentent en effet une faune benthique peu altérée et indicatrice d'une qualité biologique bonne à très bonne. Ponctuellement cependant, la qualité physico-chimique est dégradée et influence négativement la qualité biologique (aval de la Grande Eau, de l'Avançon). Il arrive aussi que la faune soit perturbée par une forte instabilité naturelle du lit de la rivière (aval de l'Avançon d'Anzeindaz).

Pour les cours d'eau prenant leur source au pied du Jura ou au bord du Plateau, la situation est plus contrastée. Certains ont une très bonne qualité biologique avec une faune très diversifiée, abritant de nombreux groupes d'insectes sensibles et indicateurs de très bonne qualité. C'est le cas du Veyron, du haut de la Venoge, de l'Aubonne, du Toleure, de la Promenthouse et de ses affluents. Environ un quart des stations de cette région révèle cependant des problèmes au niveau de la qualité biologique, se manifestant par un appauvrissement de la diversité faunistique et la disparition des groupes les plus sensibles. Ces stations sont situées sur certains petits cours d'eau de la Côte où la pression agricole, et notamment viticole, est relativement forte (Boiron de Nyon, Dullive, bas de l'Asse, Boiron de Morges) et sur le bas de la Venoge, qui subit l'augmentation des pressions d'origine humaine le long de son cours.

## **3.2 Qualité biologique en fonction de l'altitude**

Les 376 stations étudiées se répartissent entre 335 et 1'815 m d'altitude. Celles situées à plus de 785 m sont toutes localisées dans les Alpes. Toutes les stations du Jura sont situées à moins de 785 m d'altitude. 50 % des stations étudiées sont situées en dessous de 480 m d'altitude, ce qui traduit un effort d'échantillonnage nettement plus fort à basse altitude, particulièrement en dessous de 500 m.

Les stations ont été réparties en 10 catégories altitudinales, regroupant chacune 10 % des stations (figure 4). Il apparaît clairement que le pourcentage de stations de très bonne qualité et de bonne qualité augmente avec l'altitude. Les 2 classes de qualité "très bonne" et "bonne" cumulent 44 % pour les catégories d'altitude les plus basses pour dépasser 80 % dès 686 m d'altitude. Les classes "moyenne" à "mauvaise", qui représentent 55 % des stations à basse altitude, passent à moins de 20 % à haute altitude. Les stations de mauvaise qualité biologique restent marginales (1 % du nombre total de stations) mais existent à toute altitude.

L'analyse par tranches altitudinales met en évidence la bonne qualité des stations situées à haute altitude, qui correspond également aux têtes de bassin versant. Ces stations constituent des réservoirs de faune d'une grande importance pour permettre la recolonisation des tronçons aval des cours d'eau (MILNER, 1996). Ces cours d'eau de haute altitude ont souvent pu préserver un état naturel où surviennent peu d'interventions humaines et où l'utilisation du sol est modérée. Cette situation est favorable au maintien d'une faune riche et diversifiée. Des stations insatisfaisantes du point de vue biologique sont cependant présentes à toutes les altitudes, signe que les cours d'eau peuvent subir ponctuellement des impacts négatifs tout le long de leur cours.

La qualité biologique des stations situées à basse altitude est plus souvent insatisfaisante. Ces stations situées sur les cours moyens et inférieurs des rivières révèlent donc aujourd'hui une qualité biologique éloignée de ce qu'elles pourraient potentiellement abriter. Il est de plus à noter que l'utilisation de données prises en période favorable ne révèle pas l'état de ces portions de cours d'eau en période défavorable, à l'étiage par exemple, lorsque les débits sont moindres et les polluants de ce fait plus concentrés. La qualité biologique peut alors encore se dégrader. Les approches française et genevoise se concentrent sur la mise en évidence des situations les plus pénalisantes dans le but de pouvoir mettre en œuvre les moyens nécessaires.

Cette tendance à la dégradation de la qualité biologique lorsqu'on descend en altitude traduit l'impact croissant de la pression anthropique le long des cours d'eau.

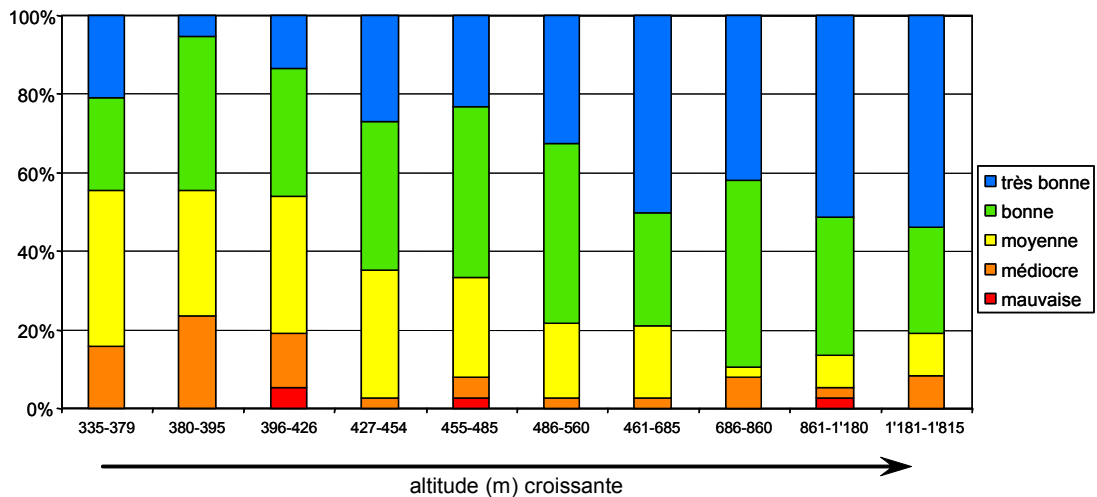


Figure 4 : Contribution des classes de qualité biologique selon l'altitude.

Figure 4 : Contribution of the various classes of biological quality according to altitude.

### 3.3 Exemples de perturbation de la qualité biologique des cours d'eau et mesures pour y remédier

#### France

Le Foron du Chablais genevois coule dans un petit bassin versant de 40 km<sup>2</sup>, situé à l'extrémité Est du Genevois Haut Savoyard, frontalier du canton de Genève. Il est totalement urbanisé sur sa moitié aval où le Foron constitue la frontière naturelle entre la France et la Suisse. La partie amont rurale devient peu à peu la proche banlieue de Genève, et subit une pression urbaine et démographique de plus en plus forte. Les principaux enjeux quantitatifs (très fortes crues pour un petit cours d'eau) et qualitatifs pour le Foron ont abouti à la signature d'un contrat de rivière transfrontalier en 2004. D'un point de vue qualitatif, les pressions de pollution d'origine domestique, artisanale, industrielle et agricole ont un impact sur la qualité physico-chimique et hydrobiologique sur la majorité du linéaire du Foron.

L'impact attendu des actions prévues sur les rejets de toutes origines, y compris artisanale et industrielle, devrait se rapprocher du bon état écologique dicté par la Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCE). Celle-ci fixe le bon état écologique, soit la classe verte pour les cours d'eau à l'horizon 2015.

Si en physico-chimie, la classe verte semble accessible, **il n'en est pas de même pour l'hydrobiologie** de la **partie aval** du Foron. Ce secteur, actuellement de qualité moyenne à médiocre, sera probablement difficile à restaurer en classe verte dans le délai du contrat. En effet, l'altération écomorphologique du milieu physique semble assez irréversible sur la partie aval du fait de l'urbanisation, qui a artificialisé au cours des décennies le lit et les berges (chenalisation, palplanches, recalibrages, etc). Le contrat de rivière a permis une concertation des acteurs de l'eau, et l'émergence d'une volonté de restauration et de renaturation de ce cours d'eau dégradé, concrétisée par des actions qui ont pour but d'améliorer cette faible qualité physique du milieu, à l'échelle du bassin, et y compris dans la traversée urbaine. C'est la première fois qu'une telle action est portée sur la qualité physique du cours d'eau, en complément des actions classiques sur l'assainissement, la qualité et la protection contre les inondations.

Néanmoins, le bilan du contrat d'ici 6 ans, constituera une étape intermédiaire avant l'horizon 2015 de la DCE. Par ailleurs, l'élaboration du programme de mesures DCE prévu de fin septembre à décembre 2005, permettra de dégager des pistes socio-économiquement réalistes sur les efforts nécessaires supplémentaires à mener d'ici 2015.

#### Genève

Seul cours d'eau de quelque importance entièrement genevois, la Seymaz prend sa source au nord-est du canton, dans les bois de Jussy. Ce cours d'eau coule d'abord dans une plaine essentiellement agricole et viticole avant de traverser l'agglomération de Chêne-Bourg. Entre cette localité et son embouchure dans l'Arve, la Seymaz s'écoule dans un vallon bordé de champs et de bois. Ce cours d'eau présente actuellement une qualité biologique médiocre sur l'ensemble de son linéaire. La recherche des causes potentielles de cette situation montre qu'elles sont multiples :

- les pratiques agricoles affectent la qualité de l'eau par les rejets de substances toxiques (pesticides) ou fertilisantes (engrais);
- la rectification du cours amont dans un lit en béton dégrade fortement la qualité écomorphologique et limite la capacité autoépuration du milieu aquatique;
- la traversée de la zone urbanisée est l'objet de nombreux déversements d'un réseau de collecte des eaux domestiques et pluviales peu performant;
- les perturbations du régime hydrologique causées par le réseau de drainages agricoles en amont et par l'imperméabilisation des sols en zones urbanisées ne permettent pas au secteur aval, pourtant naturel, de retrouver une bonne qualité biologique.

Deux grands axes de mesures devraient permettre d'améliorer la situation ; d'une part, un programme de renaturation permettra de redonner au cours d'eau un lit plus naturel, de créer des zones tampon avec les terrains agricoles et d'améliorer la gestion des débits ; d'autre part, l'amélioration de la collecte des eaux en milieu urbain et la suppression des rejets d'eau polluée dans le milieu naturel devraient permettre d'améliorer la qualité du milieu récepteur. Les expériences déjà réalisées dans ces domaines sur d'autres cours d'eau genevois montrent toutefois que les effets de telles mesures ne s'observent que plusieurs années après leur mise en place.

### **Valais**

**Le Rhône** : Le Rhône de Conche, depuis le pied du glacier (2100 m) jusqu'à Fiesch sis à une altitude de 1'000 m, entre en classe "très bonne qualité". Seul un tronçon en aval du captage de Gluringen, sans débit de dotation, est déclassé en bonne qualité. En aval de Fiesch, la qualité chute avec l'apport d'effluents de STEP et la forte réduction des débits. A la confluence avec la Binna, à Grengiols, la qualité hydrobiologique du Rhône remonte et reste stable sur plusieurs dizaines de kilomètres, jusqu'à Susten (PRONAT et GEOPLAN, 2000 et 2002). Les résultats de mars 1997, non pris en compte ici, indiquaient que le tronçon Brig-Susten présentait des valeurs IBGN comprises entre 13 et 14 et une diversité taxonomique entre 13 et 17 (ETEC et *al.*, 1998). Notons que pour ce bilan, aucune donnée n'est à disposition dans le tronçon naturel du Rhône (zone alluviale de Finges), ni plus en aval jusqu'à Sion. Le tronçon entre la Printse et la Fare conserve encore une bonne qualité.

Plus en aval cette qualité diminue avec les restitutions des grandes centrales hydroélectriques qui provoquent un marnage important jusqu'au barrage de Lavey (LIMNEX et *al.*, 2004), mais également avec la mise hors service partielle de la STEP de Nendaz touchée par deux inondations fin 2000. Dans la zone de retenue du barrage de Lavey-St Maurice, la qualité devient mauvaise. Si elle s'améliore plus en aval, elle chute en aval du site industriel de Monthey.

Les organismes benthiques semblent largement influencés par les conditions hydrauliques et physico-chimiques du Rhône. Dans le tronçon en amont de Susten, la chenalisation induit une structure monotone qui ne permet pas au Rhône d'avoir une diversité taxonomique supérieure à 17.

Les nombreuses mesures proposées dans le projet Rhône III devraient permettre d'améliorer la structure du Rhône et sa diversité biologique.

**Saaser Vispa, Matter Vispa et Vispa** : Malgré les déficits en eau à l'étiage, la Saaser Vispa affiche une bonne qualité hydrobiologique. Par contre, la qualité de la faune benthique recensée sur la Matter Vispa est mauvaise à médiocre depuis l'amont du cours d'eau jusqu'à la confluence avec la Saaser Vispa (PRONAT et GEOPLAN, 2001). Cet état résulte de l'impact négatif des nombreux captages présents sur le linéaire de la rivière, privant celle-ci de son débit naturel ou l'asséchant parfois. La station touristique de Zermatt, véritable ville à la montagne pouvant accueillir plus de 30'000 habitants, contribue aussi à cette dégradation. Même si la station et les villages situés en aval possèdent des STEP fonctionnant relativement bien, la capacité de dilution du milieu récepteur est insuffisante pour maintenir une qualité des eaux satisfaisante. La réduction drastique des débits couplée aux purges provoque également un colmatage des fonds qui demeurent très pauvres. Seul le tronçon aval bénéficie d'une légère amélioration

La Vispa, nom que prend la rivière en aval de la confluence de la Saaser Vispa et de la Matter Vispa, montre une meilleure qualité grâce aux apports d'eaux de turbinage. Cette qualité reste toutefois précaire puisque les résultats s'avèrent très fluctuants d'une saison à l'autre.

L'extension de la STEP de Zermatt avec nitrification des eaux devrait permettre une amélioration de la qualité des eaux de la Vispa. Les mesures prévues d'ici 2012 dans le cadre de l'assainissement des cours d'eau en aval des captages devraient apporter des améliorations sur la gestion des purges et vidanges des captages et également une situation plus favorable à l'étiage. Un retour de concession hydroélectrique sur la Saaser Vispa contribuera également à l'amélioration de la qualité des eaux et au régime hydrologique en période de basses eaux, de cette rivière, en aval de Saas Balen.

### **Vaud**

Plusieurs cours d'eau de l'ouest vaudois, situés au pied du Jura, présentent une forte dégradation de leur qualité biologique vers l'aval (Doye, Boiron de Nyon, Asse, Dullive, Eau Noire, Boiron de Morges, Morges). Certains de ces cours d'eau (Morges, Boiron de Morges) subissent des apports polluants importants, avec notamment des teneurs élevées en produits phytosanitaires (VIOGET et STRAWCZYNSKI, 2001). Une atteinte forte et régulière du milieu par des pesticides peut être mise en relation avec une baisse de la diversité et de la qualité biologique (LANG et *al.*, 2001).

Le Boiron de Morges, qui présente d'autre part peu de modifications de son milieu physique et un assainissement du bassin versant bien maîtrisé, a été retenu comme rivière test afin de tenter de réduire les apports en pesticides dans la rivière.

La qualité biologique du Boiron de Morges est relativement bonne dans la partie amont. La diversité des organismes benthiques y est satisfaisante (20 familles différentes) et certains organismes sensibles y sont présents (*Perlodidae*, *Taeniopterygidae*, *Nemouridae*, *Heptageniidae*). Plus en aval, la qualité biologique se dégrade pour devenir nettement insatisfaisante avant son embouchure dans le lac. La diversité chute et les organismes sensibles comme les plécoptères y sont absents.

Un projet pilote résultant d'une étroite collaboration entre les milieux agricoles, les communes, l'Etat et la Confédération est en cours de réalisation afin de réduire les apports diffus de ces produits vers la rivière.

#### 4. CONCLUSIONS

L'évaluation de la qualité biologique des cours d'eau de l'ensemble du bassin versant du Léman a été rendue possible par le fait que toutes les autorités de surveillance utilisent la même méthode, l'indice biologique global normalisé IBGN. L'application de la méthode dans les différentes entités montre toutefois des disparités au niveau des objectifs et de la planification des études qui n'ont pas permis une exploitation optimale des résultats. Une meilleure coordination entre les différentes autorités de surveillance, par exemple en terme d'objectifs, permettrait de fournir des données plus précises sur la qualité biologique des cours d'eau du bassin versant du Léman.

L'analyse des résultats montre que, lorsque les conditions hydrologiques sont favorables, deux tiers des stations étudiées sont de qualité biologique bonne, voire très bonne alors qu'un tiers est de qualité insatisfaisante.

La répartition des résultats en fonction de l'altitude montre que la proportion de stations de bonne qualité augmente avec l'altitude, mais que des conditions insatisfaisantes peuvent aussi être localement observées en montagne.

Cette situation se retrouve également dans l'analyse par entité administrative, puisque le Valais, dont l'altitude moyenne est la plus élevée, possède la plus grande proportion de sites de bonne qualité alors que Genève, canton de plaine, a la plus faible.

La qualité biologique de la plupart des cours d'eau se dégrade d'amont en aval. Cette situation traduit l'augmentation de la pression des activités humaines, dans les zones de basse altitude.

L'altération de la qualité biologique des cours d'eau peut être attribuée à trois types de causes :

– **hydrologiques** :

A) prélèvements d'eau par pompages ou captages excessifs pouvant assécher des tronçons de rivières ou diminuer significativement les débits (baisse de la capacité de dilution des pollutions, diminution du charriage et augmentation du colmatage des fonds).

B) modification du régime hydrologique naturel, soit par imperméabilisation du bassin versant (augmentation de la fréquence et de l'intensité des crues) soit par la modulation artificielle des débits (exploitation hydroélectrique);

– **écomorphologiques** :

corrections et chenalisation du cours, aménagements du lit et des berges (construction de seuils, enrochements, etc) entraînant la disparition des habitats naturels nécessaires au maintien d'une biocénose diversifiée;

– **détérioration de la qualité chimique de l'eau** :

rejets d'eaux polluées d'origine domestique, industrielle ou agricole. Ces rejets peuvent être des fertilisants (par ex. phosphate) ou toxiques (métaux lourds, pesticides, etc).

Plusieurs perturbations peuvent avoir lieu simultanément et cumulent ainsi les impacts sur la qualité biologique des milieux aquatiques. Ces trois aspects (quantité, milieu physique, qualité) doivent être pris en compte simultanément dans un diagnostic fonctionnel avant d'envisager une action d'amélioration de la qualité biologique d'un cours d'eau (CIPEL, 2004; OFEFP et al., 2003).

Un des objectifs du Plan d'Action 2001-2010 de la CIPEL est de rétablir une bonne qualité biologique des cours d'eau de l'amont jusqu'à l'embouchure afin de garantir l'intégrité de l'écosystème rivière tout au long de son cours. Les exemples présentés ci-dessus montrent que les diverses entités administratives concernées mettent sur pied une série de mesures, allant de la planification intégrée à des actions concrètes sur le terrain visant à améliorer la qualité des cours d'eau. L'application rapide de ces mesures, voire leur développement, doivent être encouragés pour garantir non seulement le maintien des eaux de bonne qualité, mais également la restauration des sites dégradés.

#### BIBLIOGRAPHIE

AFNOR (1992) : Détermination de l'indice biologique global normalisé (IBGN). NF-T90-350, Paris, 9 p.

AFNOR (2000) : Indice biologique global normalisé I.B.G.N. NF-T90-350. Guide technique, Agences de l'Eau, 2<sup>e</sup> édition. 37 p.

ANNUAIRE HYDROLOGIQUE DE LA SUISSE (2003) : Office fédéral des eaux et de la géologie, Berne, 440p.

BERNARD, R., PERRAUDIN KALBERMATTER, R. et BERNARD, M. (1994) : Observation de la qualité des eaux de surface du Canton du Valais. Le Rhône et neuf de ses affluents. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1993, 197-240.

- BERNARD, R. (2001) : Traitement statistique des données hydrobiologiques acquises en Valais entre 1990 et 1997. Bulletin de la Murithienne, 119, 7-19.
- CIPEL (1984) : Le Léman - synthèse 1957-1982. Ed. par CIPEL, Lausanne, 647p.
- CIPEL (2004) : La renaturation. Pour la vie des rives et des rivières du bassin lémanique. Plaquette Ed. CIPEL, Lausanne 15p.
- DIRECTIVE 2000/60/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. Journal officiel des Communautés européennes, numéro L 327/1 du 22 décembre 2000.
- ETEC et *al.*, (1998) : 3ème correction du Rhône. Milieux naturels. Service des routes et des cours d'eau. Canton du Valais, 69p. + annexes.
- HALLER, T., HAUSER, F. et WEINGARTNER, R. (2004) : Atlas hydrologique de la Suisse. Office fédéral des eaux et de la géologie, Berne.
- LANG, C. et REYMOND, O. (1995) : An improved index of environmental quality for Swiss rivers based on benthic invertebrates. Aquatic Sciences, 57(2), 172-180.
- LANG, C. (2000) : Diversité du zoobenthos dans 47 rivières du canton de Vaud: tendance 1989-1997. Revue suisse de zoologie, 107(1), 107-122.
- LANG, C. (2001) : Surveillance biologique des lacs et des rivières du canton de Vaud. Evolution 1980-2000. Rapport du DSE, Etat de Vaud, 18 p.
- LANG, C., STRAWCZYNSKI, A. et VIOGET, P. (2001) : Pesticides et diversité du zoobenthos dans 23 rivières du canton : campagnes 1998 et 1999. Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat., 87 (2), 93-107.
- LIMNEX, ETEC et EPFL (2004) : Schlussbericht Rhone-Ist-Zustand, Subprojekt I-6: Revitalisierung und Benthos der Rhone. Rhone-Thur Projekt, 103p. + Anhang.
- MILNER, A. M. (1996) : System recovery, 205-226. In : River restoration, Petts G. et Calow P. (Ed.), 231 p.
- OEaux (1998) : Ordonnance du 28 octobre 1998 sur la protection des Eaux (Suisse, état au 18 novembre 2003).
- OFEFP, OFEG, OFAG et ARE (2003): Idées directrices. Cours d'eau suisses pour une politique de gestion durable de nos eaux, Berne, 12 p.
- PRONAT et GEOPLAN (2000) : Hydrologische und hydrobiologische Studie, Rhone Goms 1998-1999. Service de la protection de l'environnement, Canton du Valais, 34p. + annexes.
- PRONAT et GEOPLAN, (2001) : Hydrologische und hydrobiologische Studie, Matter-Vispa und Vispa 2000. Service de la protection de l'environnement, Canton du Valais, 37p. + annexes
- PRONAT et GEOPLAN (2002) : Hydrologische und hydrobiologische Studie, Rhone Fiesch-Brig 2001. Service de la protection de l'environnement, Canton du Valais, 35p. + annexes.
- VIOGET, P. et STRAWCZYNSKI, A., (2001) : Pesticides dans les cours d'eau vaudois en 2000 et 2001. Etat de Vaud, Rapport du Laboratoire du SESA, Epalinges, 8 p.
- WASSON, J-G., CHANDESRIS, A., PELLA, H. et SOUCHON, Y. (2001) : Définition des hydroécotones françaises. Méthodologie de détermination des conditions de référence au sens de la Directive cadre pour la gestion des eaux. Rapport de phase 1. CEMAGREF - Lyon.
- WASSON, J-G., CHANDESRIS, A., PELLA, H. et BLANC, L. (2002) : Les hydroécotones de la France métropolitaine. Approche régionale de la typologie des eaux courantes et éléments pour la définition des peuplements de référence d'invertébrés. CEMAGREF - Lyon.