

DIAGNOSTIC DES EAUX DE SURFACE

APPLICATION DU SYSTÈME MODULAIRE GRADUÉ AU BOIRON DE MORGES

Les variations hydro-climatiques et anthropiques actuelles et prévues dans le futur interrogent sur l'évolution de l'état écologique des cours d'eau. Il est donc crucial de développer des outils prenant en compte les dimensions quantitatives et qualitatives des ressources en eau. C'est le cas du système modulaire gradué proposé par l'Office fédéral de l'environnement. Cet article présente un retour d'expérience sur la mise en œuvre de ce système, appliqué au Boiron de Morges, et sur sa capacité à identifier la variabilité spatio-temporelle des enjeux écologiques.

Marianne Milano*; Nathalie Chèvre; Emmanuel Reynard, Université de Lausanne
Jean-François Rubin, La Maison de la Rivière

ZUSAMMENFASSUNG

MULTIDISZIPLINÄRE UNTERSUCHUNG VON OBERFLÄCHENGEWÄSSERN: ANWENDUNG DES MODUL-STUFEN-KONZEPTS AUF DEN BOIRON DE MORGES (KANTON WAADT)

Zur Beurteilung der Qualität der Fliessgewässer entwickelte das BAFU in Zusammenarbeit mit den kantonalen Fachstellen, mit Forschungszentren und privaten Einrichtungen seit 1998 eine Reihe von Methoden. Diese Methoden, die zum Modul-Stufen-Konzept (MSK) gehören, wurden auf den Boiron de Morges angewendet. Der Boiron fliesst durch ein vielfältiges Landwirtschaftsgebiet, was zu einer fortschreitenden Verschlechterung seiner chemischen und biologischen Qualität führt. Seit 2013 ist eine deutliche Verbesserung der Wasserqualität zu beobachten. Dies ist möglicherweise auf verschiedene Revitalisierungsmassnahmen sowie auf ein Pilotprojekt zur Reduktion der Verschmutzung durch Pflanzenschutzmittel zurückzuführen, das der Kanton Waadt seit 2005 mit Unterstützung des Bundes und der betroffenen Gemeinden umsetzt. Aufgrund einer Folge von heissen und trockenen Jahren, von punktuellen Verunreinigungen durch die Landwirtschaft und der hohen Pestizidkonzentration war es jedoch nicht möglich, einen dauerhaft guten Zustand des Fliessgewässers zu erreichen. Neben der Ermittlung des aktuellen und früheren Zustands des Boiron wurde im Rahmen der Studie das MSK evaluiert. Das MSK ist zwar ein leistungsfähiges Instrument, womit Jahr für Jahr ein

INTRODUCTION

Les changements hydro-climatiques en cours et à venir, couplés aux rejets croissants de substances polluantes d'origine anthropique, sont susceptibles d'affecter la qualité des rivières. La capacité des cours d'eau à diluer les polluants pourrait être réduite et le temps de résidence des polluants pourrait s'accroître, affectant la faune et la flore aquatique ainsi que la disponibilité des ressources pour les différents usagers. On peut alors s'interroger sur l'évolution de l'état écologique des cours d'eau et leur capacité à continuer à satisfaire les différentes demandes en eau.

Suite à l'entrée en vigueur de la Loi fédérale du 24 janvier 1991 sur la protection des eaux (LEaux, RS 814.20), la Suisse s'inscrit dans une dynamique de protection, de conservation et de restauration de ses eaux. L'Office fédéral de l'environnement (OFEV) développe notamment, depuis 1998, en collaboration avec les services cantonaux, plusieurs centres de recherche et des institutions du secteur privé, un système d'analyse et d'appréciation de l'état hydromorphologique, écologique et toxicologique des eaux suisses à l'échelle régionale [1]. Appelé «Système modulaire gradué» (SMG; *fig. 1*), il réunit des méthodes couvrant les aspects écomorphologiques, hydrologiques, chimiques et biologiques de

* Contact: marianne.milano@unil.ch

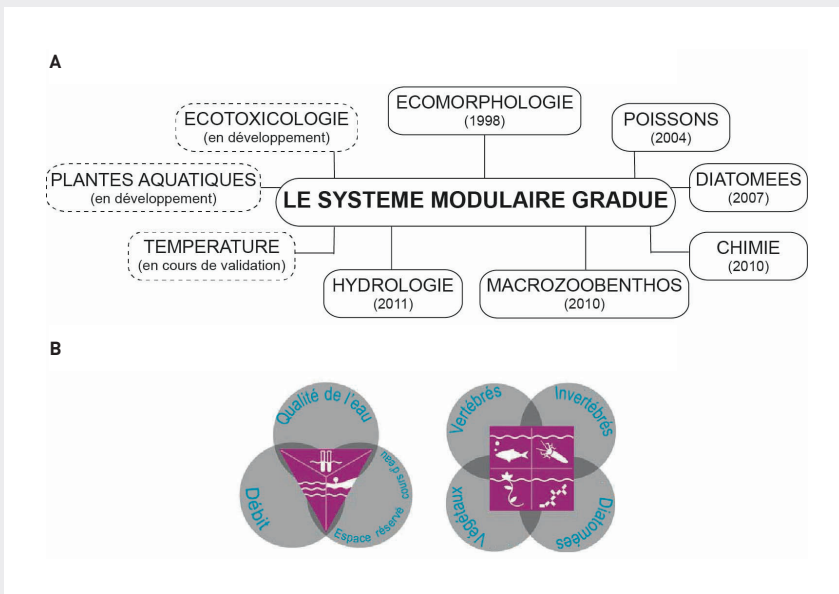


Fig. 1 Le Système modulaire gradué (niveau R - région). A - Phases de développement des différents modules; B - Proposition de représentation graphique des résultats [2] Das Modul-Stufen-Konzept (Stufe F - flächendeckend). A - Entwicklungsphasen der verschiedenen Module; B - Vorschlag für die grafische Darstellung der Ergebnisse [2]

la qualité des cours d'eau afin de fournir un aperçu de leur état et de mettre en évidence d'éventuels déficits écologiques [1]. Il s'adresse en premier lieu aux services environnementaux cantonaux. Tous les cantons renseignent régulièrement la qualité physico-chimique et benthique des cours d'eau [3]. Néanmoins, l'application des autres modules est variable [3] et rares sont les services cantonaux qui documentent le SMG de manière exhaustive [4-6] et étendue [2]. Ceci peut en partie s'expliquer par un nombre de stations de mesures variable selon le réseau hydrographique, l'intensité des

pressions humaines et les moyens financiers du canton [3]. La multiplication des outils de suivi des eaux au cours du temps (fig. 1A) peut également expliquer la difficulté à mettre en œuvre cette approche dans son intégralité [3, 6]. En outre, en vertu de l'article 62a de la LEaux, entré en vigueur au 1^{er} janvier 1999, la Confédération soutient des projets pilotes d'assainissement des eaux polluées par des substances utilisées dans l'agriculture, élaborés et mis en œuvre par les cantons [7]. En 2016, 26 projets liés aux nitrates, 4 projets liés au phosphore et 2 projets liés aux produits phytosanitaires ont bénéficié

de cette aide. Ces expériences doivent permettre de restaurer la qualité des cours d'eau sur l'ensemble de leur tracé et d'élaborer des stratégies applicables sur d'autres bassins versants.

Dans un tel contexte, il nous a paru intéressant d'appliquer le SMG dans son intégralité sur un site pilote afin d'évaluer l'applicabilité des différents modules et leur interconnexion. Le SMG a ainsi été appliqué au Boiron de Morges en utilisant les données brutes collectées par le Canton de Vaud et La Maison de la Rivière entre 2005 et 2015. L'objectif est de fournir, d'une part, un diagnostic pluridisciplinaire et pluriannuel de la qualité de ses eaux et, d'autre part, de produire une analyse scientifique de la capacité du SMG à renseigner et suivre l'état des cours d'eau.

LE BOIRON DE MORGES

Le Boiron de Morges est un cours d'eau vaudois de 16 km de long qui prend sa source au pied du Jura et se jette dans le lac Léman, près de Tolochenaz. Son bassin versant s'étend sur environ 34 km² et se caractérise par une activité agricole très diversifiée (fig. 2). Plus de la moitié des surfaces agricoles est constituée de grandes cultures (55%), suivies de prairies (26%), de vignes (9%), de cultures maraîchères (7%) et de vergers (3%). Les principales sources de pollution de ses eaux sont les rejets d'eau de surface provenant des collecteurs de routes ou des drains agricoles et viticoles ainsi que les rejets de deux stations d'épuration

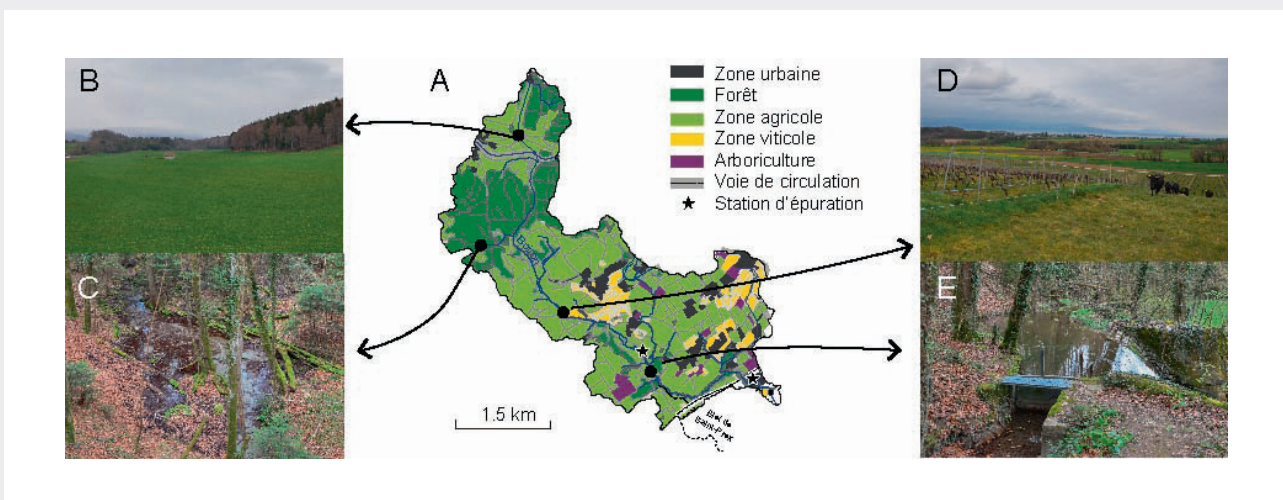


Fig. 2 Le Boiron de Morges. A - Occupation du sol de son bassin versant; B - Source du Boiron dans une zone humide drainée; C - Source naturelle du Boiron; D - Secteur agricole dans la commune de Yens; E - Bief de Saint-Prex (Photos: Emmanuel Reynard) Der Boiron de Morges. A - Bodennutzung in seinem Einzugsgebiet; B - Quelle des Boiron in einem trockengelegten Feuchtgebiet; C - Natürliche Quelle des Boiron; D - Landwirtschaftssektor in der Gemeinde Yens; E - Bief de Saint-Prex (Fotos: Emmanuel Reynard)

(STEP). Par ailleurs, depuis 2005, il est l'objet du premier projet pilote de Suisse de lutte contre la pollution par les produits phytosanitaires [8].

APPLICATION DU SYSTÈME MODULAIRE GRADUÉ

Afin d'évaluer la qualité des eaux du Boiron, il est proposé de classer les éléments de qualité du SMG (modules) de manière à définir un état hydromorphologique, un état écologique et un état toxicologique (fig. 3).

ÉTAT HYDROMORPHOLOGIQUE

L'état hydromorphologique d'un cours d'eau traduit sa capacité physique à entretenir un écosystème et à assurer son développement. Il est caractérisé par les conditions structurelles du réseau hydrographique (morphologie, connectivité, etc.) et par la dynamique des écoulements, tenant compte des atteintes diverses liées aux usages et aux aménagements hydrauliques. Deux modules du SMG renseignent l'état hydromorphologique (fig. 3): le module «écomorphologie» [9], déjà décrit à plusieurs reprises pour le Boiron par différents services environnementaux [2, 10, 11] et le module «hydrologie» [12]. Ce dernier évalue plusieurs paramètres caractéristiques des régimes hydrologiques (débits moyens, crues et étiages) et des variations de courte durée des débits en raison de prélèvements, de déversements, de régulations ou de purges. Ces variables sont ensuite comparées entre une période de référence, considérant les conditions paysagères actuelles sans les différents usages de l'eau, et une période altérée tenant compte des usages actuels. Selon le degré d'altération, chaque paramètre se voit attribuer un nombre de points (de 1 pour une absence d'altération à 12 pour un fort degré d'altération). Un degré de qualité hydrologique est ensuite attribué pour l'ensemble de la période étudiée selon la somme des points et le pire cas observé.

La chronique des débits à l'exutoire du Boiron, obtenue auprès de la Direction générale de l'environnement du canton de Vaud, est récente et courte (2005–2015); elle ne permet pas de distinguer deux périodes hydrologiques distinctes. L'analyse des paramètres a donc été adaptée. Les écoulements moyens ont été caractérisés par le nombre de jours où les débits outrepassent les valeurs seuils du débit caractéristique de crue (Q_{10}) et d'étiage (Q_{347}). On considère que plus le nombre de jours où les écoulements outrepassent ces valeurs est grand, plus la qualité hydrologique du cours d'eau se détériore. Les crues et les étiages ont été analysés en termes de fréquence, de durée et d'éloignement

à leur valeur seuil. Plus les épisodes sont nombreux et longs et plus les débits sont éloignés des valeurs seuils, plus la qualité hydrologique est considérée comme mauvaise. Par ailleurs, une analyse annuelle du comportement hydrologique est apparue plus pertinente qu'une comparaison entre deux périodes pour identifier les réponses hydrologiques aux perturbations climatiques et/ou anthropiques. Ainsi, le système de notation et d'évaluation de la qualité hydrologique proposé par le SMG a été conservé mais appliqué au pas de temps annuel.

ÉTAT ÉCOLOGIQUE

L'état écologique caractérise la qualité de l'environnement aquatique permettant d'assurer le développement des écosystèmes et les usages de l'eau. Il dépend des propriétés physico-chimiques du milieu ainsi que de la composition et diversité biologique (fig. 3). Le module «chimie» définit les paramètres à évaluer au moins 12 fois dans l'année pour renseigner les propriétés physiques, la salinité, le carbone organique dissous (COD) et la concentration en nutriments du cours d'eau [13]. Le 90^{ème} percentile de chaque paramètre est calculé et comparé aux normes environnementales définies dans l'Ordonnance sur la protection des eaux du 28 octobre 1998 (OEaux, RS 814.201) puis classé par niveaux de qualité selon le respect ou non de la norme. La qualité physico-chimique globale du cours d'eau est déduite du pire cas observé. Une analyse de la dynamique saisonnière de la température de l'eau est également proposée, s'appuyant sur une comparaison entre températures journalières observées et courbes thermiques de référence [14].

La composition biologique du milieu est définie par les modules «poissons», «macrozoobenthos» (MZB) et «diatomées». Les diatomées ayant fait l'objet d'analyses uniquement en 2008 et 2013 [15], le module s'y référant a été ignoré dans ce travail. La qualité piscicole d'un cours d'eau dépend de la composition et de la dominance des espèces recensées, ainsi que de la structure, de la densité et des anomalies physiques de l'espèce dominante comparées à une écorégion de référence [16]. Plus les écarts sont faibles, plus les conditions naturelles de reproduction et de développement des espèces sont atteintes. Pour la faune benthique, la qualité des eaux est évaluée au travers de l'indice biotique suisse (IBCH) [17]. Cet indicateur est déterminé à partir du nombre d'espèces pollu-sensibles identifiées et du nombre total d'espèces recensées. Plus le nombre de taxons pollu-sensibles est élevé, plus la qualité benthique du cours d'eau est bonne. La Direction générale de l'environnement du canton de Vaud renseigne cet indicateur depuis

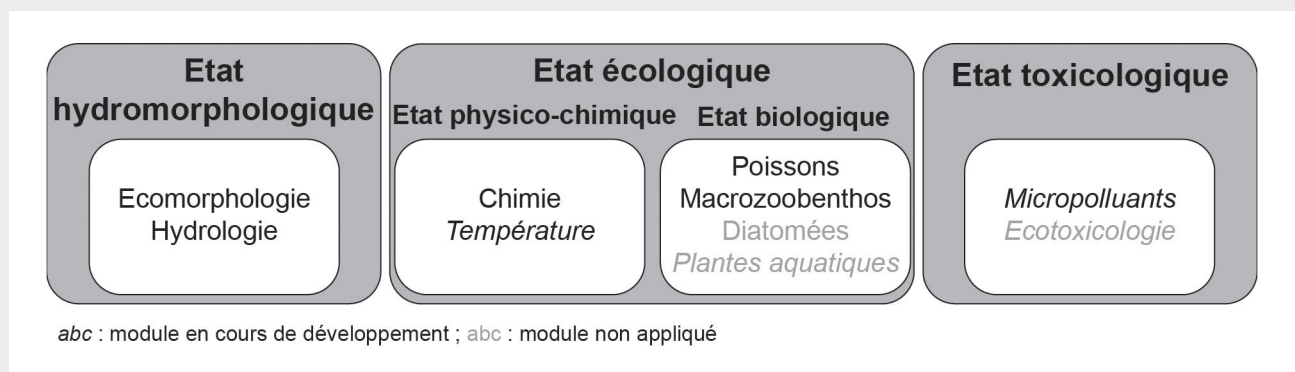


Fig. 3 Proposition de classification des modules du Système modulaire gradué pour définir l'état des cours d'eau

Vorschlag für die Klassifizierung der Module des Modul-Stufen-Konzepts zur Bestimmung des Zustands von Fließgewässern

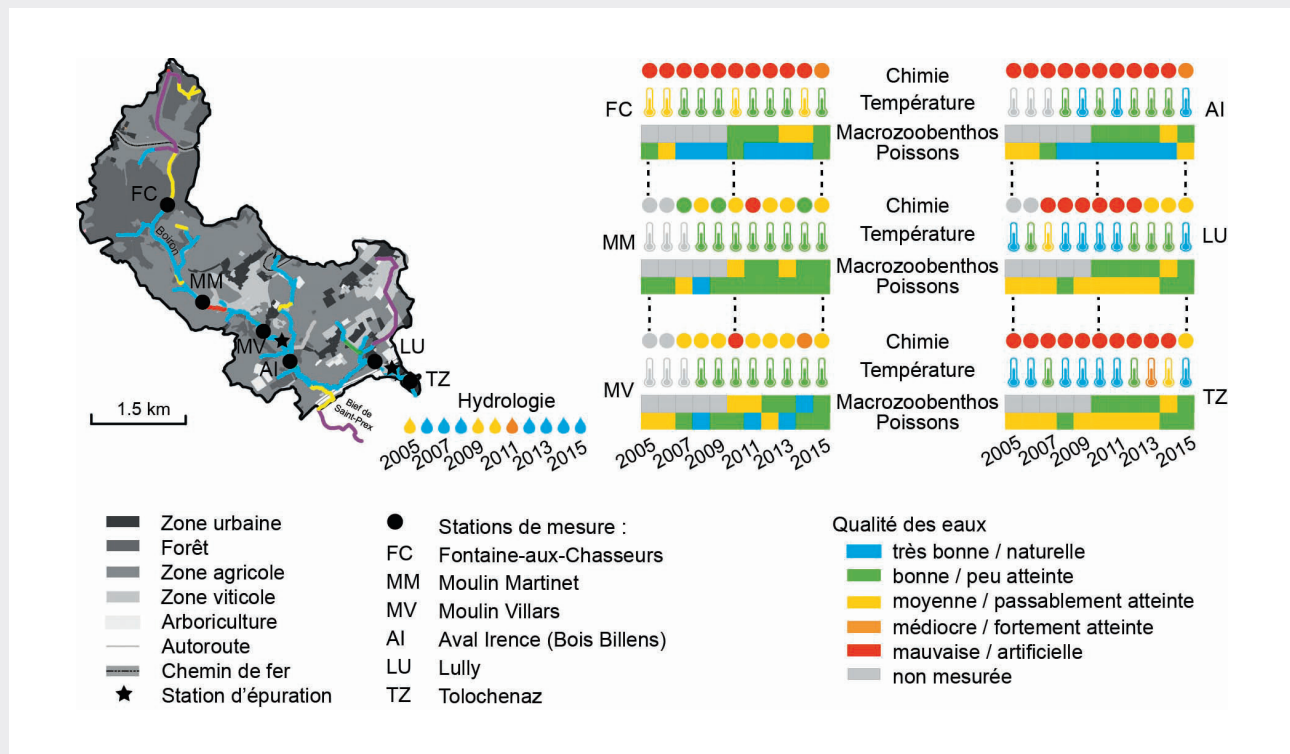


Fig. 4 Etat de la qualité des eaux du Boiron selon le Système modulaire gradué
 Wasserqualität des Boiron gemäss dem Modul-Stufen-Konzept

2010, dont les résultats sont directement présentés et exploités dans cet article.

ÉTAT TOXICOLOGIQUE

L'état toxicologique est défini par les concentrations de substances chimiques d'origine anthropique trouvées dans le milieu, soulignant l'impact des rejets d'eau (par ex. collecteurs de routes, drains agricoles, STEP) sur les ressources en eau (fig. 3). Les concentrations des produits phytosanitaires mesurées dans le milieu ont été analysées selon la stratégie d'évaluation proposée par l'Eawag et le Centre Ecotox [18]. Ces derniers définissent 40 pesticides et biocides majeurs dont les concentrations dans l'eau doivent être suivies de mars à novembre et pour lesquels il est proposé de calculer un coefficient de risque. Il s'agit du rapport entre la concentration mesurée dans l'environnement (CME) et la norme de qualité environnementale (NQE). Si le coefficient est inférieur à 1, on considère que l'eau du cours d'eau a un bon état toxicologique. Deux types de NQE ont été considérés ici: (1) la concentration maximale autorisée dans l'eau pour chaque pesticide, fixée dans l'OEaux, soit 0,1 µg/l; (2) les concentrations maximales admissibles en exposition chronique définies par le Centre Ecotox, selon l'écotoxicité connue des différentes substances chimiques dans

l'eau, les sédiments et les espèces aquatiques [18]. Dans le dernier cas, pour les pesticides non identifiés comme majeurs, la norme fédérale de 0,1 µg/l a été prise en compte. Enfin, une synthèse globale par groupe de pesticides est proposée selon le pire cas identifié.

ÉTAT DE SANTÉ DU BOIRON

UN ENVIRONNEMENT PHYSIQUE SENSIBLE

L'environnement physique du Boiron peut être considéré comme étant globalement de bonne qualité (fig. 4). D'une part, l'écomorphologie du réseau hydrographique est qualifiée de naturelle. Seuls le secteur amont et le dernier affluent sont canalisés et mis sous terre suite à des opérations de drainage des zones humides qui ont eu lieu au début du 20^{ème} siècle pour assainir ces zones et développer l'agriculture [19] (fig. 2B). Une partie des eaux du Boiron est également dérivée par le bief de Saint-Prex, à des fins agricoles, industrielles et artisanales [20] (fig. 2E). D'autre part, aucune infrastructure hydroélectrique ne perturbe les écoulements du Boiron. Son régime hydrologique est pluvial et assure une bonne dynamique des écoulements à l'exception des années sèches. Cela a notamment été le cas en 2005 et pour la période 2009–2011, périodes durant les-

quelles la qualité hydrologique du Boiron est moyenne. Les années 2005 et 2011 enregistrent les plus bas débits annuels moyens (0,21 m³/s et 0,19 m³/s respectivement contre 0,38 m³/s sur la période 2005–2015) en lien avec une faible pluviométrie (850 mm et 775 mm respectivement contre 1025 mm en moyenne sur la période; données MétéoSuisse). En 2005, aucun épisode de crue n'a été enregistré et les écoulements automnaux et hivernaux ont été de 44% à 74% inférieurs à la moyenne saisonnière de la période 2005–2015. Entre 2009 et 2011, les écoulements printaniers ont été réduits de moitié et les étiages ont été particulièrement sévères avec des débits inférieurs de 60% au Q₃₄₇ pendant au moins 24 jours chaque année. Les faibles valeurs de débit enregistrées à l'exutoire à ces périodes sont aussi certainement exacerbées par la dérivation d'une partie des eaux par le bief de Saint-Prex (volumes dérivés non mesurés).

UNE QUALITÉ SE DÉGRADANT D'AMONT EN AVAL, MAIS S'AMÉLIORANT DANS LE TEMPS

En se référant au pire cas observé, les propriétés physico-chimiques des eaux du Boiron sont mauvaises, sauf à Moulin Martinet et Moulin de Villars, où elles sont de qualité moyenne (fig. 4). Une analyse par critère montre que les propriétés physiques et la salinité du Boiron sont

bonnes, voire très bonnes, même si les concentrations en chlore tendent à augmenter en aval avec l'apport des tributaires et les rejets des STEP. Les atteintes sont essentiellement liées au COD et aux nutriments. D'importantes concentrations en COD sont naturellement observées en aval des zones humides, qualifiant les eaux à Fontaine-aux-Chasseurs de médiocres. Les fortes concentrations d'ammonium enregistrées à cette station expliquent également ce mauvais état. Des concentrations élevées en COD, ammonium et phosphate ont aussi été mesurées aux trois stations comprises entre l'aval de l'Irence et l'exutoire du Boiron dans le lac. Ceci est vraisemblablement lié à l'exploitation maraîchère d'endives sur l'Irence, au lessivage des sols agricoles, aux rejets des STEP et à des événements de pollutions ponctuelles, comme en 2011 par exemple. Cette année-là, l'ensemble des stations a enregistré une dégradation de la qualité des eaux, alors que ce n'est pas les cas les autres années. Ceci peut être associé d'une part au caractère chaud et sec de l'année ayant pu provoquer une moins bonne capacité des eaux à diluer les polluants et un boom algal, et d'autre part à des purges accidentelles de cuves de compost en juillet et octobre, près de Moulin Martinet. Enfin, l'ensemble des stations montre une tendance vers une amélioration de leur qualité depuis 2013. La qualité biologique est plutôt bonne même si une détérioration de la faune piscicole est notable aux deux stations situées en aval (fig. 4). Le Boiron se situe dans une zone à truite à la diversité pis-

cicole peu variée (truite, chabot, vairon) dont la population est divisée en deux par la digue du bief de Saint-Prex située sur le Boiron en aval de l'Irence. En amont, se trouve une population piscicole résidente présentant une forte densité, une structure équilibrée et un grand nombre de juvéniles. En aval, il s'agit d'une population migratrice de faible densité dont le nombre d'individus tend toutefois à augmenter depuis 2014. Certaines études ont montré que, dans ce secteur, les truites sont atteintes d'une maladie rénale proliférative justifiant notamment de leur faible densité [10]. C'est également en amont que le plus grand nombre d'espèces benthiques polluo-sensibles a été recensé, en particulier à Moulin de Villars où 13 familles d'éphéméroptères, plécoptères et trichoptères ont été identifiées en 2014 et 2015 contre seulement 8 en aval de l'Irence et à Lully, et 6 à Tolothenaz.

DES EFFORTS À POURSUIVRE POUR UNE MEILLEURE QUALITÉ TOXICOLOGIQUE

Concernant la qualité toxicologique des eaux du Boiron, des résultats controversés ont été obtenus aux trois sites de suivi des substances phytosanitaires. Selon la norme fédérale de 0,1 µg/l, la qualité toxicologique du Boiron est moyenne, voire médiocre, et se détériore d'amont en aval, tandis que selon les normes définies par le Centre Ecotox, l'état toxicologique de la rivière est bon, voire très bon (fig. 5). Seule la période 2009–2011 est marquée par une qualité dégradée.

C'est en amont du bassin versant que le moins grand nombre de substances diffé-

rentes a été identifié (32) et que les plus faibles concentrations ont été mesurées. L'enjeu majeur concerne les insecticides, en particulier le diéthyltoluamide (DEET), un anti-moustique fréquemment utilisé sur les chevaux et les vaches, dont les concentrations excèdent entre 3 et 10 fois la norme de 0,1 µg/l et déterminent une qualité des eaux médiocre, voire mauvaise. Or, selon les NQE proposées par le Centre Ecotox, les eaux de ce secteur sont de très bonne qualité toxicologique. La NQE proposée pour cet insecticide est en effet beaucoup plus élevée (410 µg/l) que la norme fédérale.

En aval, un grand nombre de substances (plus de 40) a été identifié aux concentrations parfois 3 à 80 fois supérieures aux concentrations maximales admissibles en exposition aiguë (NQE-CMA) proposées par le Centre Ecotox. Néanmoins, depuis 2010, les concentrations de fongicides et herbicides tendent à diminuer, respectant même la valeur de 0,1 µg/l depuis 2012 pour les fongicides et depuis 2014 à Moulin de Villars pour les herbicides. Les mesures de revitalisation entreprises sur le Boiron (par exemple le réaménagement des berges et la création d'une station de lavage des véhicules agricoles) et le programme de lutte contre les produits phytosanitaires initié en 2005 par le canton de Vaud semblent donc avoir une répercussion positive sur la qualité des eaux. Ce projet pilote encourage notamment les agriculteurs à réduire l'utilisation d'herbicides et à limiter le ruissellement au travers de mesures pratiques (installation de bandes herbeuses ou de

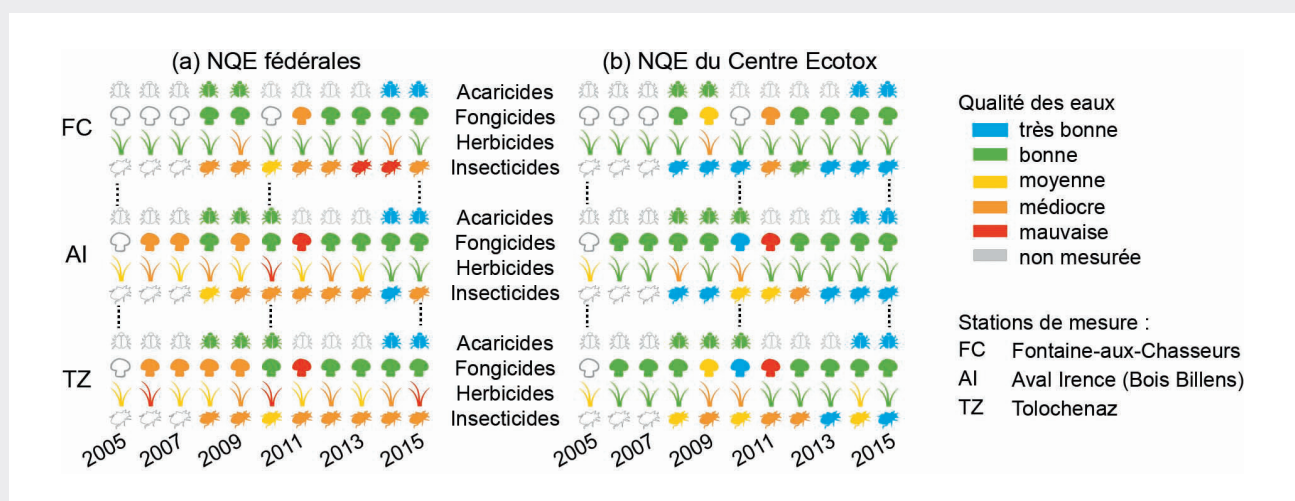


Fig. 5 Description toxicologique de la qualité des eaux du Boiron selon (a) les NQE fédérales (OEaux) et (b) les NQE proposées par le Centre Ecotox

Toxikologische Beschreibung der Wasserqualität des Boiron gemäss (a) den EQS des Bundes (GSchV) und (b) den vom Oekotoxzentrum vorgeschlagenen EQS

prairies permanentes) et mécaniques (machines de désherbage). Des pollutions ponctuelles entraînant un non-respect des deux NQE proposées peuvent toutefois être identifiées: (1) de 2008 à 2010 pour les herbicides, (2) en 2011 pour les fongicides, et (3) de 2010 à 2012 pour les insecticides. Les conditions climatiques chaudes et sèches de cette période ont vraisemblablement entraîné une utilisation accrue de pesticides et la diminution des débits en cette période a réduit la capacité des eaux à diluer ces substances. En outre, les fortes concentrations de DEET retrouvées dans l'eau demeurent un enjeu, notamment à l'exutoire où même les NQE proposées par le Centre Ecotox ne sont pas toujours respectées.

SYNTHÈSE ET PERSPECTIVES

BILAN SUR L'ÉTAT DU BOIRON

L'application du SMG sur le Boiron de Morges a permis de déterminer qu'aucun tronçon de ce cours d'eau ne présente simultanément un bon état hydromorphologique, écologique et toxicologique. La qualité des eaux se dégrade d'amont en aval en lien avec la réception des eaux des affluents ainsi que les rejets agricoles et des STEP. Le secteur amont est affecté par de fortes concentrations en COD, en partie d'origine naturelle, ainsi qu'en ammonium et DEET, en relation étroite avec le drainage de la zone humide et les pâturages du secteur, tandis que le secteur aval, en particulier la station de Tolochenaz, est marqué par une dégradation de la faune piscicole et d'importantes pollutions en COD, ammonium, phosphates et pesticides. Deux périodes d'évolution notable de la qualité des eaux ressortent également. Entre 2009 et 2011, les conditions climatiques chaudes et sèches ont entraîné une diminution des débits et une hausse de l'utilisation de produits phytosanitaires détériorant la qualité des eaux. Depuis 2013, au contraire, une amélioration de la qualité des eaux est observée. Cela est vraisemblablement lié aux diverses mesures de revitalisation entreprises sur le Boiron (par exemple le réaménagement des berges, l'afforestation des berges, le retrait de seuils, la création d'une station de lavage des véhicules agricoles) et aux mesures de lutte contre les pesticides favorisées par le canton de Vaud, en collaboration avec les communes et les agriculteurs. Fondées sur des participations volontaires, ces dernières concernent 9,83 km² (état en 2015) [11]. Les principales mesures appliquées sont la réduction de pertes lors du lavage des pulvérisateurs en les équipant de bacs d'eau claire pour un rinçage au champ (mesure dorénavant obligatoire en Suisse pour les bacs de plus de 350 litres), la proposition de méthodes alternatives pour réduire l'utilisation d'herbicides, l'élaboration d'une carte de risque de transfert des produits phytosanitaires dans les eaux superficielles et la formation continue des agriculteurs [11]. L'amélioration de la qualité des eaux du Boiron peut également s'expliquer par la modernisation des deux STEP en 2012, avec notamment la mise en place de processus de nitrification à Villars, réduisant de la sorte les concentrations en COD et en ammonium en aval.

LE SMG: UN OUTIL DE DIAGNOSTIC

L'exemple du Boiron de Morges montre que le SMG permet d'identifier les secteurs les plus altérés ainsi que les périodes présentant une dégradation ou une amélioration qualitative significative. Cette procédure standardisée offre une analyse rétrospective complète de la complexité de l'hydro-écosystème

et un suivi annuel de la qualité des eaux. La prise en compte de NQE et l'expression de leur respect ou non au travers d'un code couleur intuitif permettent également de définir la qualité du cours d'eau et le degré d'effort à mener pour atteindre les objectifs de «bon état». Le SMG n'en demeure pas moins un outil complexe qui nécessite un grand nombre de données et de compétences en hydrologie, chimie des eaux, hydrobiologie et gestion des eaux pour sa prise en main. Par ailleurs, les synthèses modulaires sont hétérogènes et fournissent une vision pessimiste de l'état du système (pires cas observés majoritairement), et aucune règle de classification globale de l'état du cours d'eau n'est proposée. La représentation graphique des résultats proposée (fig. 1B) est également malaisée et n'a pu être appliquée. Elle n'intègre pas encore tous les modules et ne permet pas une lecture facile de l'état du système et de son évolution au cours du temps. Il apparaît donc nécessaire de développer des outils de synthèse pratiques pour identifier facilement les enjeux et secteurs prioritaires et ainsi aisément transmettre les résultats aux services environnementaux concernés.

MIEUX COMPRENDRE LES RELATIONS DE CAUSE À EFFET

L'évolution de l'état des hydro-écosystèmes s'explique par le climat, l'occupation du sol, les activités humaines et les stratégies d'aménagement et de gestion mises en œuvre sur le territoire. Ces dernières sont en partie intégrées dans le module hydrologie afin de caractériser leurs impacts sur la dynamique des écoulements mais sont soumises à interprétation pour les autres modules. Afin d'évaluer le degré de naturalité du territoire et comprendre son comportement hydro-écologique, une analyse climatique et historique du territoire (par ex. évolution de l'occupation du sol, aménagements, pollutions ponctuelles) ainsi qu'un inventaire détaillé (identification, localisation et fonctionnement) des usages, rejets et transferts d'eau semblent primordiaux. Ceci pourrait être intégré dans le SMG au travers d'un module «histoire».

UNE INTÉGRATION DIFFICILE DES RÉSULTATS

Le SMG propose une série de modules indépendants, offrant la possibilité de renseigner l'état du cours d'eau selon les données disponibles. Cela présuppose toutefois que les variables hydromorphologiques, écologiques et toxicologiques sont indépendantes et ne s'influencent pas. Or, des variations d'une variable (par ex. l'hydrologie ou la température) peuvent influencer l'évolution d'autres variables (par ex. la concentration en nutriments, le nombre d'espèces polluo-sensibles ou la densité piscicole). Il conviendrait dès lors d'exprimer les relations directes entre critères au travers d'indicateurs intégrateurs. Certaines pistes peuvent être évoquées comme le facteur de dilution, proposé pour identifier les STEP à moderniser [21] ou suivre les rejets de polluants [22], ou l'approche par les services écosystémiques, qui tient compte de l'état de l'environnement, de ses usages, du bien-être biologique et des services rendus [23]. L'application de tels indicateurs apporterait une dimension prospective au SMG et permettrait de mieux analyser l'influence des stratégies de gestion ou d'aménagement sur les cours d'eau à court ou moyen terme.

L'IMPORTANCE DES NORMES ENVIRONNEMENTALES

Enfin, les résultats de la qualité toxicologique du Boiron présentent un contraste saisissant selon la NQE choisie. L'ana-

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la Direction générale de l'environnement (DGE) du canton de Vaud pour la mise à disposition des données brutes de débits, «éléments majeurs» et «pesticides» ainsi que les indicateurs concernant le macrozoobenthos pour la période 2005–2015. Les auteurs sont particulièrement reconnaissants aux membres de la Division Protection des eaux (PRE) pour avoir partagé leurs connaissances sur le Boiron et le Système modulaire gradué.

lyse s'est portée sur la NQE définie par l'OEaux, qui fixe pour l'ensemble des substances une seule exigence de protection des eaux contre une quelconque atteinte, ainsi que sur les NQE définies par le Centre Ecotox, qui fixe des critères de qualité écotoxicologique spécifiques à chaque substance. Sur les 45 substances phytosanitaires identifiées au moins une fois dans les eaux du Boiron, le Centre Ecotox propose des NQE pour 25 d'entre elles. Parmi ces normes, trois sont inférieures à 0,1 µg/l et 16 sont 10 à 15 000 fois supérieures. Cette hausse de la NQE fixée dans l'OEaux est sujette à controverse. En effet, les impacts des pesticides sur les écosystèmes aquatiques et la bioaccumulation de ces substances le long de la chaîne trophique sont encore mal connus. De plus, l'appréciation écotoxicologique d'une pollution ne peut se faire que par tronçon et il est souvent difficile de tirer des conclusions sur la représentativité du degré de pollution. On suppose qu'il correspond plutôt à la plage inférieure de la pollution effective [24]. Enfin, les différents produits phytosanitaires sont également appréhendés un à un et les effets indésirables liés aux produits de dégradation ou à la combinaison de plusieurs substances sont ignorés. Par précaution, il semblerait préférable de maintenir les NQE les plus basses possible, soit en appliquant la norme fédérale de 0,1 µg/l, soit en réduisant sa valeur pour les substances aux effets écotoxicologiques connus (par ex. Diuron, Triclosan, Diazinon). Cela serait alors en meilleure adéquation avec les objectifs de la LEaux qui vise à restaurer et préserver le bon état écologique des cours d'eau. Notons finalement que l'adoption de programmes d'action, tels que le projet pilote mené sur le Boiron visant à réduire les volumes de pesticides utilisés demeure le

meilleur moyen pour améliorer la qualité toxicologique des eaux et assurer une utilisation durable des ressources.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (1998): *Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau en Suisse. Système modulaire gradué. Informations concernant la protection des eaux* 26, Berne, 41 p.
- [2] Canton de Vaud (2016): *De source sûre. La qualité des cours d'eau vaudois. Direction générale de l'environnement, Lausanne*, 68 p.
- [3] Cercleau (2011): *Analyse des cours d'eau en Suisse. Résultats du sondage auprès des services cantonaux de la protection des eaux*. <http://www.cercleau.ch/index.php/fr/documents/> (dernier accès: octobre 2016)
- [4] Baumann, P. et Langhans, S. (2010): *Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. Synthèse des évaluations au niveau R (région). L'environnement pratique. Office fédéral de l'environnement, Berne*, 47 p.
- [5] Département de la gestion du territoire du canton de Neuchâtel (2012): *Bassin du Doubs neuchâtelois. Diagnostic pluridisciplinaire des eaux de surface. Rapport principal pour la République et Canton de Neuchâtel*, 150 p.
- [6] Steeb, N. (2014): *Fliessgewässer-Monitoring im Kanton Thurgau. Koordinierte Anwendung des Modul-Stufen-Konzepts für ein flächendeckendes Messnetz. Masterarbeit, ETH Zürich, Zürich*, 103 p.
- [7] Office fédéral de l'agriculture (2013): *Recueil des bases. Projets lancés en vertu de l'art. 62a LEaux. Projets Nitrates*. Berne, 76 p.
- [8] Canton de Vaud (2016): *Programme de réduction de la concentration en produits phytosanitaires dans le Boiron (de Morges). Dossier de demande de contributions fédérales pour la période 2017–2022 (art. 62a LEaux)*, 41 p.
- [9] Binderheim E. & Göggel W. (2007): *Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. Aspect général. L'environnement pratique* 701. Office fédéral de l'environnement, Berne, 43 p.
- [10] Association Truite-Léman (2009): *Monitoring Truite: Projet pilote «Boiron de Morges». Guide pratique méthodologique*, 71 p.
- [11] Zeh Weissmann, H. et al. (2009): *Ecomorphologie des cours d'eau suisses. Etat du lit, des berges et des rives. Résultats des relevés écomorphologiques (avril 2009). Etat de l'environnement* 926. Office fédéral de l'environnement, Berne, 100 p.
- [12] Pfandler, M. et al. (2011): *Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. Hydrologie – régime d'écoulement. Niveau R (région). L'environnement pratique* 1107. Office fédéral de l'environnement, Berne, 113 p.
- [13] Liechti, P. (2010): *Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. Analyses physico-chimiques, nutriments. L'Environnement pratique* 1005. Office fédéral de l'environnement, Berne, 44 p.
- [14] Ernst Basler + Partner AG (2011): *Rapport d'experts en vue d'un module température pour le système modulaire gradué. Etabli sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement*, 95 p.
- [15] Straub, F. et al. (2014): *Les diatomées (algues silicatées), indicatrices de la qualité des cours d'eau vaudois: synthèse 2005 à 2013. Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat.* 94(1): 73–106
- [16] Schager, E. et Peter, A. (2004): *Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau en Suisse. Poissons – niveau R (région). Informations concernant la protection des eaux* 26. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne, 65 p.
- [17] Stucki, P. (2010): *Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. Macrozoobenthos – niveau R (région). L'Environnement pratique* 1026. Office fédéral de l'environnement, Berne, 61 p.
- [18] Wittmer, I. et al. (2014): *Micropolluants – Stratégie d'évaluation pour les micropolluants organiques de sources non ponctuelles. Etabli sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement. Eawag, Dübendorf*, 104 p.
- [19] Jaton, J. (1976): *Considérations sur le drainage des sols tourbeux et les risques de colmatage. Mensuration, photogrammétrie, génie rural* 8(76): 209–214
- [20] Goy, O. (2008): *Clin d'œil sur un «bisse» vaudois: Le Bief de Saint-Prex. Lémaniques* 69: 7–8
- [21] Ort, C. et al. (2009): *Model-based evaluation of reduction strategies for micropollutants from wastewater treatment plants in complex river networks. Environ. Sci. Technol.* 43(9): 3214–3220
- [22] Colman, J. et al. (2011): *Determination of dilution factors for discharge of aluminum-containing wastes by public water-supply treatment facilities into lakes and reservoirs in Massachusetts. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report* 2011–5136, Reston, Virginia, 36 p.
- [23] Grizzetti, B. et al. (2016): *Ecosystem services for water policy: Insights across Europe. Environmental Science & Policy* 66: 179–190
- [24] Munz, N. et al. (2013): *Pesticides dans les cours d'eau suisses. Aperçu de la situation à l'échelle nationale. Aqua & Gas* 7/8: 78–87

> FORTSETZUNG DER ZUSAMMENFASSUNG

Gesamtbild vom Zustand der Gewässer erstellt werden kann; es erlaubt jedoch keine saisonalen oder prognostischen Beurteilungen. Zudem wird der Einfluss von Nutzungen auf die Wasserqualität nur teilweise berücksichtigt. Es fehlen auch Anweisungen für die Zusammenfassung der Resultate.