

Recommandation intercantonale

Méthodes d'analyse et d'appréciations des
cours d'eau

Micropolluants organiques - Exigences chiffrées de l'annexe 2, OEaux



Avril 2024

Impressum

Éditeur Lab'Eaux
Kompetenznetzwerk der kantonalen Gewässerschutz- und Umweltschutzlaboratorien
Haus der Kantone
Speichergasse 6
3000 Bern 7

VSA
Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute
Europastrasse 3
8152 Glattbrugg

Auteur·ices Irene Wittmer (Kt BE), Tobias Doppler (VSA), Christian Götz (Kt. ZH), Manuel Kunz (Kt. LU)

Groupe d'accompagnement
Pierre-Jean Copin, Beat Jermann (Ct. GE), Catherine Folly, Elise Folly (Ct. FR), Marin Huser (Ct. BL), Margie Koster (Ct. TG), Martin Märki (Ct. AG), Claudia Minkowski (Ct. BE), Christoph Moschet (Ct. SH), Cécile Plagellat (Ct. VD), Jürg Wüthrich (Ct. SG) ; Marion Junghans (Centre Ecotox), Nele Schuwirth, Heinz Singer (Eawag) ; Damian Dominguez, Päivi Rinta, Fabian Soltermann, Simona Weber, Saskia Zimmermann (OFEV).

Photo de couverture : © A. Della Bella

Cette publication est également disponible en allemand. La langue originale est l'allemand.

Table des matières

<u>1.</u>	<u>Introduction</u>	<u>4</u>
1.1	Objectif de la recommandation	4
1.2	Les micropolluants dans les cours d'eau suisses	5
1.3	Bases juridiques : exigences chiffrées relatives aux micropolluants organiques	6
1.4	Pesticides organiques : définition	6
<u>2.</u>	<u>Sites</u>	<u>7</u>
2.1	Estimation de la charge polluante	7
2.2	Mesures indicatives	9
2.3	Autres indices de pollution des eaux	9
2.4	Sélection coordonnée de plusieurs sites	9
<u>3.</u>	<u>Prélèvement d'échantillons et analyses</u>	<u>11</u>
3.1	Stratégie d'échantillonnage	11
3.2	Analyses	13
3.3	Assurance qualité	14
<u>4.</u>	<u>Évaluation</u>	<u>16</u>
4.1	Évaluation d'une donnée de mesure	16
4.2	Évaluation en fonction de l'utilisation pour l'approvisionnement en eau potable	16
4.3	Agrégation de l'évaluation	18
4.4	Représentation de l'évaluation	18
4.5	Contexte des résultats	22
4.6	Mesures nécessaires et suite des opérations	22
<u>5.</u>	<u>Annexe</u>	<u>23</u>
5.1	Calcul des concentrations moyennes sur deux semaines	23
5.2	Nombre minimal d'échantillons pour l'évaluation de la pollution continue	25
<u>6.</u>	<u>Bibliographie</u>	<u>29</u>

1. Introduction

1.1 Objectif de la recommandation

La présente recommandation explique comment analyser les cours d'eau pour en déterminer la teneur en micropolluants organiques et en apprécier la qualité sur la base des exigences chiffrées correspondantes définies dans l'annexe 2 de l'ordonnance sur la protection des eaux (OEaux, RS 814.201). L'objectif est de vérifier si l'état des eaux est conforme aux exigences chiffrées fixées pour les micropolluants organiques à l'annexe 2, ch. 11, al. 3, OEaux. Bien que ces exigences chiffrées s'appliquent à toutes les eaux superficielles, l'accent est mis sur les cours d'eau et cette recommandation n'aborde pas les analyses portant sur l'eau des lacs.

Cette recommandation traite des différentes dimensions de la surveillance des eaux qui sont déterminantes pour une appréciation correcte sur le plan juridique. Il s'agit notamment du choix des sites, de la stratégie d'échantillonnage (à savoir la nature et le nombre des échantillons prélevés) et des exigences relatives aux analyses. Les prescriptions tiennent compte de la complexité de l'analyse des eaux en vue d'étudier leur charge en micropolluants organiques. Le choix des sites joue un rôle primordial lors de l'appréciation des eaux. La stratégie d'échantillonnage doit tenir compte de deux aspects : les concentrations dans les eaux sont susceptibles de varier fortement et les analyses doivent pouvoir détecter certaines substances à de très faibles concentrations (Dax et al. 2020, Sinniger und Niederhauser 2011, Spycher et al. 2018, Wittmer et al. 2014). La recommandation fournit également des suggestions concernant la représentation des résultats de l'évaluation des eaux. La Figure 1 présente la structure du document et le contenu des différents chapitres.

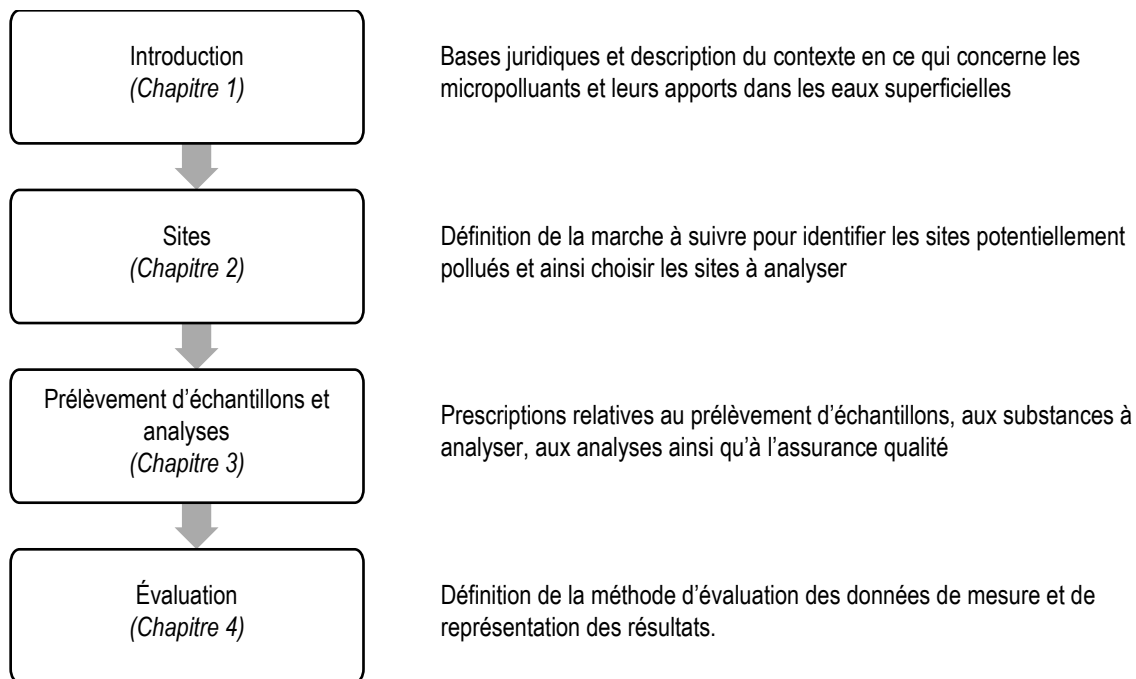


Figure 1 : Structure de la recommandation

La structure correspond à la marche à suivre pour collecter des données et vérifier la conformité aux exigences chiffrées fixées pour les micropolluants organiques à l'annexe 2, ch. 11, al. 3, OEaux.

La présente recommandation complète la publication « Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau en Suisse. Analyses physico-chimiques, nutriments » (Liechti 2010). Ces deux aides à l'exécution couvrent largement les exigences chiffrées prévues dans l'annexe 2, ch. 11 et 12, OEaux. Elles sont en outre complétées par la publication consacrée à l'évaluation écotoxicologique des micropolluants (Junghans et Wittmer, en prép.), en particulier concernant la priorisation des mesures nécessaires.

1.2 Les micropolluants dans les cours d'eau suisses

De nombreux cours d'eau suisses sont pollués par une grande variété de micropolluants organiques (OFEV, 2022). Les apports provenant de l'agriculture et de l'évacuation des eaux urbaines et des eaux de chaussée polluent surtout les petits et moyens cours d'eau, tandis que les apports continus des eaux polluées communales et les apports périodiques issus de l'industrie et de l'artisanat portent principalement atteinte aux cours d'eau de taille moyenne à grande. Cependant, certaines régions comptent un grand nombre de petites stations d'épuration qui rejettent aussi leurs effluents dans des petits cours d'eau, y entraînant des charges élevées.

Les apports de micropolluants dans les eaux peuvent être ponctuels ou diffus. De plus, certains peuvent se produire de manière plutôt continue et d'autres, présenter de fortes variations dans le temps. Un bref aperçu des différents types d'apports est présenté ci-après. De plus amples détails sont disponibles dans les analyses complètes de la situation concernant les micropolluants (Braun et al. 2015, Gälli et al. 2009, Wunderlin et al. 2022).

- **Apports diffus et variables dans le temps durant les épisodes pluvieux** (provenant de l'agriculture et de l'évacuation des eaux urbaines et des eaux de chaussée) : on qualifie de « diffus » les apports de substances dans les eaux répartis sur un territoire relativement vaste. La plupart des apports provenant de l'agriculture et de l'évacuation des eaux urbaines et des eaux de chaussées (sans transiter par une station d'épuration) sont des apports diffus. De plus, ils présentent généralement des variations dans le temps. La mobilisation à la source, de même que le transport vers les eaux, se font fréquemment par le biais des précipitations, raison pour laquelle les charges, mais aussi les concentrations de ces substances, augmentent considérablement durant les événements pluvieux (Braun et al. 2015) (Figure 2A). À ce phénomène s'ajoute pour certaines substances, notamment les produits phytosanitaires, une saisonnalité de l'application et des apports. Seul un monitoring laborieux couvrant l'ensemble de la période d'application peut permettre de rendre compte de ces apports.
- **Apports diffus et variables dans le temps, indépendamment du régime des précipitations** (provenant de l'agriculture) : certains apports issus de l'agriculture varient également dans le temps sans toutefois dépendre des précipitations. Il s'agit par exemple de la dérive durant l'application de produits phytosanitaires ou des apports dus à une évacuation incorrecte des eaux des aires de remplissage et de lavage des pulvérisateurs. Ces apports ne sont pas prévisibles et nécessitent de ce fait un suivi en continu.
- **Apports ponctuels et continus** (via les stations d'épuration communales) : des substances utilisées au quotidien, comme les médicaments ou les détergents pour la vaisselle, sont souvent rejetées de manière constante dans les eaux par le biais des stations d'épuration communales (Gälli et al. 2009). Lorsque le débit augmente, elles se retrouvent diluées et leur concentration dans les eaux diminue par rapport au débit d'étiage (Figure 2B). La relative constance des apports de ces substances facilite leur suivi.
- **Apports ponctuels et variables dans le temps** (via les stations d'épuration communales et les émetteurs directs industriels) : les entreprises industrielles et artisanales rejettent, souvent par à-coups, une grande variété de substances dans les eaux du fait des fluctuations des processus de production et de travail. Ces apports peuvent parvenir dans les eaux aussi bien par le biais des stations d'épuration communales que par

les émetteurs directs industriels (entreprises dotées de leur propre station d'épuration) (Wunderlin et al. 2022). Ces apports sont difficiles à prédire et ne peuvent donc être recensés qu'au moyen d'un suivi en continu.

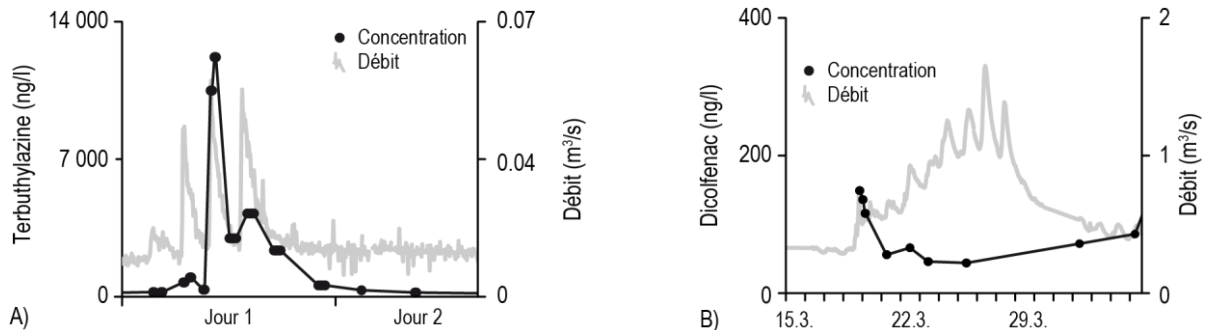


Figure 2 : Dynamiques de rejet de micropolluants pendant les événements pluvieux

A) Concentration d'un produit phytosanitaire dans les eaux pendant un événement pluvieux (Doppler et al. 2012). La concentration augmente avec le débit du fait de l'apport généré par les pluies. Les substances provenant de l'évacuation des eaux urbaines et des eaux de chaussée (réseaux séparatifs, déversoirs d'orage des réseaux unitaires, systèmes d'évacuation et de traitement des eaux de chaussée) se comportent de manière similaire.

B) Concentration d'un analgésique dans les eaux pendant un événement pluvieux (Wittmer et al. 2010). L'apport (charge polluante) reste plus ou moins constant indépendamment des précipitations. En raison de la dilution par les eaux pluviales supplémentaires, la concentration dans les eaux diminue lorsque le débit est accru.

1.3 Bases juridiques : exigences chiffrées relatives aux micropolluants organiques

L'annexe 2, ch. 11, al. 3, OEaux définit pour les pesticides organiques une exigence chiffrée générale de 0,1 µg/l (tableau 4), mais fixe aussi pour certaines substances des exigences chiffrées divergentes fondées sur des critères écotoxicologiques (tableaux 3 et 4). Ces dispositions visent à garantir que les plantes, animaux et microorganismes sensibles des eaux superficielles ne subissent pas d'atteintes du fait de pollutions, que ces dernières soient à court terme ou continues. Les exigences définies pour la pollution dite continue ont pour but d'assurer une protection contre la pollution à plus long terme (toxicité chronique). La note n° 2 au bas des tableaux 3 et 4 de l'annexe 2, ch. 11, al. 3, OEaux concrétise le terme « continu » comme suit : « Concentration moyenne sur une période de deux semaines ». Les exigences relatives à la pollution à court terme, qui visent à protéger contre une toxicité aiguë, ainsi que l'exigence générale de 0,1 µg/l pour tous les autres pesticides organiques, doivent quant à elles être respectées en tout temps. De plus, l'annexe 2, ch. 11, al. 3, OEaux établit pour les exigences chiffrées relatives aux pesticides organiques une distinction entre les eaux qui servent à l'approvisionnement en eau potable et les autres.

1.4 Pesticides organiques : définition

Les pesticides organiques visés dans le tableau 4 de l'annexe 2, ch. 11, al. 3, OEaux englobent les produits biocides et les produits phytosanitaires et contiennent des principes actifs et des préparations constituées de composés organiques (conformément à l'art. 4, al. 1, let. d et e, de la loi sur les produits chimiques, RS 813.1). Ils sont respectivement soumis aux prescriptions en matière d'autorisation de l'ordonnance sur les produits biocides (RS 813.12) et de l'ordonnance sur les produits phytosanitaires (RS 916.161). Les produits biocides et les produits phytosanitaires relevant de la définition ci-avant qui ne sont pas autorisés en Suisse ou qui ont perdu leur autorisation tombent également sous la définition des pesticides organiques. En revanche, la notion au sens de l'OEaux ne couvre pas les produits de dégradation de pesticides (métabolites).

2. Sites

Du fait de l'investissement requis pour le prélèvement d'échantillons et les analyses, il est impossible de contrôler le respect des exigences chiffrées définies dans les tableaux 3 et 4 de l'annexe 2, ch. 11, al. 3, OEaux sur l'ensemble du territoire. Un contrôle systématique serait en tout état de cause superflu puisque l'on ne s'attend pas au même niveau de pollution dans toutes les eaux. En vue d'estimer la charge polluante et d'identifier les eaux potentiellement polluées qui devront être étudiées de manière approfondie, il est indispensable d'obtenir tout d'abord une vue d'ensemble des eaux et des sources d'émissions dans leur bassin versant. Pour ce faire, il est utile d'employer les méthodes et les analyses de données existantes suivantes :

- estimation de la charge sur la base de la taille du cours d'eau, de l'utilisation du sol et de modélisations (point 2.1) ;
- réalisation de mesures indicatives (point 2.2) ;
- autres indices suggérant une pollution des eaux, p. ex. issus d'analyses biologiques (point 2.3).

Les analyses de l'utilisation du sol, les modèles, les mesures indicatives ou d'autres évaluations indiquent les tronçons potentiellement pollués, aidant ainsi à classer correctement les sites par ordre de priorité. Une campagne de mesures satisfaisant aux conditions énoncées aux chapitres 3 et 4 doit toutefois être menée en vue de vérifier le respect des exigences chiffrées.

Lors du choix des sites, il convient en outre de tenir compte du fait que les exigences chiffrées ne sont applicables que lorsque les eaux déversées et les eaux du cours d'eau ou de l'étendue d'eau forment un mélange homogène (annexe 2, ch. 11, al. 3, OEaux). Chaque site doit de ce fait être suffisamment éloigné des points de déversement en amont (des stations d'épuration, des déversoirs d'orage des réseaux unitaires, mais aussi des systèmes d'évacuation des eaux de chaussée, des drainages, etc.).

L'évaluation du niveau de pollution dans un canton ou une région nécessite d'étudier un nombre suffisant de sites. Le point 2.4 pose les principes à respecter lors de la sélection de plusieurs sites.

2.1 Estimation de la charge polluante

Le Plateau et les grandes vallées comptent parmi les régions de Suisse densément peuplées et soumises à une utilisation agricole intensive. Des concentrations plus importantes de micropolluants sont donc prévisibles dans ces régions (Strahm et al. 2013). Divers renseignements concernant un cours d'eau ainsi que les sources de micropolluants dans son bassin versant peuvent fournir des indications sur les tronçons susceptibles de présenter une charge polluante accrue. Les paragraphes suivants décrivent les informations, telles que l'utilisation du sol ou la proportion d'eaux usées dans les eaux réceptrices, qui peuvent guider le choix des sites pour différentes sources de pollution.

Agriculture

Pour estimer une éventuelle pollution par des activités agricoles, il est utile de procéder dans un premier temps à l'analyse de l'utilisation du sol. À titre d'exemple, une proportion élevée de grandes cultures, de vergers ou de vignes sur l'ensemble de la superficie du bassin versant d'un cours d'eau constitue un indice d'une pollution potentielle par des produits phytosanitaires (Strahm et al. 2013). Les pollutions agricoles dépendent cependant de nombreux autres facteurs (Alder et al. 2013). Le fait qu'un champ soit drainé ou non, la proximité directe ou non avec un cours d'eau ou l'éventuelle connexion avec un cours d'eau par l'intermédiaire du système d'évacuation des eaux de chaussée, mais aussi les cultures pratiquées dans le champ, entre autres, jouent en l'occurrence un rôle déterminant.

C'est généralement dans les petits et moyens cours d'eau présentant dans leur bassin versant une proportion élevée de surfaces faisant l'objet d'une utilisation agricole intensive que l'on relève les concentrations les plus élevées de substances provenant de l'agriculture (OFEV 2022). Les concentrations sont en règle générale fortement diluées dans les grands cours d'eau tels que le Rhin ou l'Aar (OFEV 2022). Il faut éviter de sélectionner des cours d'eau présentant un tout petit bassin versant, car les applications individuelles de produits phytosanitaires sur certains champs influencent fortement la pollution observée. Des analyses d'Eawag ont démontré que le nombre de substances détectées peut être très élevé dès lors que le bassin versant dépasse une taille de 1 à 2 km² (Doppler et al. 2017). Ces résultats permettent de conclure qu'il convient de choisir des sites présentant un bassin versant d'une taille supérieure à 1 km².

Eaux polluées communales

Une proportion élevée d'eaux usées dans le cours d'eau constitue un indice d'une pollution potentielle par des substances issues des eaux polluées communales. Des informations relatives au pourcentage d'eaux usées ainsi qu'au débit annuel moyen des cours d'eau suisses sont disponibles sur le géoportail de la Confédération (map.geo.admin.ch). Les résultats de l'Observation nationale de la qualité des eaux de surface (NAWA) montrent que le diclofénac, un anti-inflammatoire, dépasse les exigences chiffrées quasiment tout au long de l'année lorsque le pourcentage d'eaux usées est supérieur à 5 % du débit annuel moyen (OFEV 2022). Le nombre de cours d'eau pollués diminuera cependant à mesure qu'avancera l'optimisation des stations d'épuration, qui permet d'éliminer la majeure partie des micropolluants dans les eaux usées. Il convient par conséquent de prendre en compte, en plus de la proportion d'eaux usées, le niveau d'équipement des stations d'épuration dans un bassin versant. Il existe un modèle permettant d'estimer les apports prévisibles de différentes substances provenant des eaux polluées communales, qui tient également compte du niveau d'équipement des STEP (Ort 2007).

Évacuation des eaux urbaines (sans stations d'épuration)

Les déversoirs d'orage des réseaux unitaires, le déversement d'eaux pluviales des zones urbanisées et le déversement d'eaux de chaussée peuvent aussi polluer les eaux. Des indices sur d'éventuels rejets sont fournis par les plans généraux d'évacuation des eaux des communes et l'évaluation des points de déversement conformément à la directive « Gestion des eaux urbaines par temps de pluie » (VSA 2019). Ces voies d'apport sont cependant négligeables par rapport aux rejets provenant des stations d'épuration et de l'agriculture (Braun et al. 2015).

Industrie et artisanat

Les pollutions occasionnées par l'industrie et l'artisanat peuvent être estimées au moyen d'une analyse des entreprises installées dans le bassin versant (Wunderlin et al. 2022). La Suisse compte une cinquantaine d'émetteurs directs, à savoir des entreprises dotées de leur propre station d'épuration industrielle. Les autres entreprises (env. 20 000 à 30 000) acheminent leurs eaux usées vers une station d'épuration communale. Le niveau d'équipement des stations d'épuration communales dans le bassin versant est donc également un critère à prendre en compte lors de l'appréciation de la pertinence des apports issus de l'industrie et de l'artisanat. En raison du caractère cyclique des processus de production et de transformation, les rejets industriels en premier

lieu, et artisanaux dans une moindre mesure, sont souvent imprévisibles (Anliker et al. 2020a, Anliker et al. 2020b). Les branches d'activités suivantes jouent un rôle important dans l'émission de micropolluants organiques : traitement physico-chimique des déchets spéciaux liquides, industries chimique et pharmaceutique (synthèse et transformation), traitement de surfaces métalliques, galvanisation, production et transformation de produits alimentaires, blanchisseries, industrie automobile et transports, ainsi que métiers de la peinture. Les processus de chauffage et de refroidissement, quant à eux, sont pertinents pour tous les secteurs d'activités.

2.2 Mesures indicatives

Les mesures indicatives consistent en des mesures permettant d'obtenir avec un minimum d'efforts (peu de mesures ou courte période d'échantillonnage) une première estimation de la pollution. Il s'agit en règle générale de prélèvements ponctuels mensuels. Les mesures indicatives peuvent représenter une approche judicieuse afin de disposer d'une vue d'ensemble pour plusieurs cours d'eau. Toutefois, les données collectées dans ce cadre ne se prêtent pas à une vérification du respect des exigences chiffrées au sens de la présente recommandation (cf. chapitre 4).

Si des prélèvements ponctuels permettent d'identifier de manière adéquate des pollutions par des substances déversées dans les eaux en continu, l'analyse de ce type de prélèvements tend à sous-estimer considérablement les polluants dont les apports varient dans le temps (Wittmer et al. 2014).

2.3 Autres indices de pollution des eaux

D'autres types d'analyses peuvent également fournir des indices d'une éventuelle pollution des eaux par des micropolluants organiques. Ainsi, les analyses biologiques, telles que celles réalisées conformément au module du SMG consacré au macrozoobenthos (OFEV 2019), peuvent livrer de précieuses indications quant à une dégradation de la qualité des eaux. D'autres méthodes biologiques peuvent également être employées pour identifier des eaux potentiellement polluées par des pesticides, notamment l'indice biologique SPEARpesticide (en anglais : Species At Risk, Liess et van der Ohe 2005) ou certains biotests.

En ce qui concerne les déversements provenant de l'évacuation des eaux urbaines, des analyses réalisées selon les méthodes du module « qualité des eaux » de la directive « Gestion des eaux urbaines par temps de pluie » du VSA (Ilg et al. 2021) peuvent donner de premières indications sur la qualité des eaux.

2.4 Sélection coordonnée de plusieurs sites

Étant donné que chaque site présente certaines spécificités, il n'est pas possible de tirer des conclusions quant aux contaminations dans toute une région à partir d'un seul site. En même temps, la plupart des cantons n'ont pas la possibilité d'analyser un grand nombre de sites, par manque de ressources.

Le nombre et la détermination des sites à retenir en vue d'obtenir des résultats significatifs pour une région doivent être étudiés au cas par cas. Il convient cependant de tenir compte des principes suivants lors de la sélection coordonnée de sites appropriés :

- Les analyses visent à vérifier la conformité aux exigences chiffrées fixées pour les micropolluants organiques à l'annexe 2, ch. 11, al. 3, OEaux. L'accent doit donc être mis en priorité sur les tronçons dans lesquels la présence de ces micropolluants organiques réglementés est escomptée.

- Les sites doivent être représentatifs des sources de micropolluants pertinentes dans la région, par exemple s'agissant de l'utilisation du sol dans le bassin versant ou de la proportion d'eaux usées dans le cours d'eau (cf. point 2.1).
- Les cours d'eau de petite, moyenne et grande taille, ainsi que les grandes cours d'eau et les très grandes cours d'eau présentent différentes charges polluantes, aussi faut-il analyser tous les types de cours d'eau pertinents.
- Les analyses réalisées sur plusieurs sites permettent d'apprécier le niveau de pollution à l'échelon régional. Il est donc judicieux de coordonner les analyses à l'échelle régionale (p. ex. sur plusieurs cantons), voire nationale (NAWA).
- Lorsque des mesures ont été prises dans un bassin versant en vue de réduire la pollution, des sites peuvent être sélectionnés de manière ciblée afin de suivre les effets de celles-ci.

Lorsque les évaluations portent sur plusieurs sites, la nature et la représentativité de chacun d'entre eux doivent être explicitement étudiées.

3. Prélèvement d'échantillons et analyses

Les examens de routine ne permettent pas de vérifier le respect des exigences chiffrées qui figurent dans les tableaux 3 et 4 de l'annexe 2, ch. 11, al. 3, OEaux en tout temps et sur tous les tronçons. Des stratégies d'échantillonnage significatives pour l'appréciation d'un cours d'eau et réalisables selon l'état actuel de la technique sont donc préconisées sous 3.1. Cette section définit en outre des conditions minimales à respecter pour pouvoir évaluer un cours d'eau. Les conditions applicables au choix et aux analyses des substances étudiées sont énoncées sous 3.2, et l'assurance qualité est traitée sous 3.3.

3.1 Stratégie d'échantillonnage

La note n° 2 au bas des tableaux 3 et 4 de l'annexe 2, ch. 11, al. 3, OEaux définit que les exigences chiffrées relatives à la pollution continue (toxicité chronique) sont applicables à la concentration moyenne sur une période de deux semaines. Les autres exigences chiffrées, à savoir les exigences relatives à la pollution à court terme et l'exigence générale de 0,1 µg/l pour les pesticides organiques, doivent être respectées en tout temps. Se fondant sur ces deux principes, les paragraphes qui suivent présentent les stratégies d'échantillonnage recommandées et formulent des conditions minimales concernant le prélèvement d'échantillons pour permettre de contrôler conformément à la loi le respect des prescriptions figurant dans les tableaux 3 et 4 de l'annexe 2, ch. 11, al. 3, OEaux.

Pollution continue (toxicité chronique)

Stratégie d'échantillonnage recommandée : des échantillons moyennés sur deux semaines proportionnels au temps permettent de vérifier le respect des exigences chiffrées relatives aux pollutions continues fixées dans l'OEaux. Ces échantillons composites sont composés de plusieurs échantillons partiels de même volume et prélevés à intervalles de temps réguliers ou de façon continue. Il est recommandé de prélever toute l'année des échantillons moyennés sur deux semaines proportionnels au temps, ce qui représente 26 échantillons par an et par site. Pour évaluer de manière adéquate les apports variables dans le temps (comme p. ex. sur la Figure 2A), il est recommandé de prélever un échantillon partiel au moins une fois par heure. Les valeurs mesurées sur les échantillons composites moyennés sur deux semaines et proportionnels au temps peuvent être directement comparées avec les exigences relatives à la pollution continue.

Cas particulier – échantillons moyennés sur deux semaines proportionnels au débit dans les grands cours d'eau et les très grands cours d'eau : les échantillons proportionnels au débit sont indiqués uniquement dans les grandes fleuves comme le Rhin à la hauteur de Bâle, pour apprécier la qualité des eaux au regard des exigences relatives à la pollution continue. En effet, seuls les plus grands cours d'eau permettent de présumer qu'un échantillon composite proportionnel au débit représente suffisamment bien la concentration moyennée sur deux semaines, car les différences de débit sur un intervalle de quinze jours sont généralement minimales. En l'espèce, il est primordial que la concentration moyennée ne soit pas essentiellement déterminée par celle de la pointe de débit.

Calcul à partir d'un échantillonnage plus court : si, pour une période continue d'au moins deux semaines, on ne dispose pas d'échantillons moyennés sur deux semaines, mais que des échantillons composites continus à intervalles plus courts (p. ex. échantillons moyennés sur 3,5 jours) sont disponibles, il est possible de calculer à partir de ces données les concentrations moyennes sur deux semaines. Les règles applicables à ce calcul sont définies dans l'annexe 5.1.

Conditions minimales :

- L'évaluation de la pollution continue d'un cours d'eau nécessite au moins huit échantillons moyennés sur deux semaines au cours d'une année. Il ressort en effet d'une analyse statistique des données de NAWA de l'année 2018 que ce n'est qu'à partir de huit échantillons que l'on peut garantir avec une grande probabilité (> 80 %) la justesse de l'évaluation globale sur une majorité de sites (> 75 %) pour toutes les tailles de cours d'eau (cf. annexe 5.2 pour plus de détails). Lorsque les bassins versants sont soumis à une exploitation agricole intensive, le plus judicieux est de procéder à ces prélèvements sur la période allant de début avril à fin octobre eu égard aux fluctuations saisonnières. Lorsqu'un programme de monitoring remplit seulement les conditions minimales concernant le nombre d'échantillons, l'interprétation des résultats doit tenir compte du fait que des pollutions supplémentaires peuvent survenir.
- Pour que les échantillons composites puissent être évalués à l'aune des exigences chiffrées, ils doivent être constitués d'échantillons partiels prélevés pendant au moins treize jours consécutifs. Une plage de tolérance de treize à quatorze jours est défendable sur le plan juridique et facilite la mise en pratique. Ainsi, lorsque par exemple le prélèvement débute un mardi mais que l'échantillon est à nouveau prélevé dès le lundi de la deuxième semaine suivante pour des raisons logistiques, la durée d'échantillonnage correspond aux treize jours tolérés.
- De plus, il peut arriver que des échantillons partiels manquent dans un échantillon moyenné sur deux semaines en raison de problèmes techniques (p. ex. panne de l'échantillonneur). Lorsque des échantillons partiels sont disponibles pour au moins dix jours, la concentration moyenne sur deux semaines peut être déterminée par calcul, en prenant pour les périodes manquantes une concentration nulle (cf. annexe 5.1 pour la marche à suivre).

Pollution à court terme (toxicité aiguë)

Stratégie d'échantillonnage recommandée : dans le cadre de la surveillance de routine, il est recommandé d'évaluer la pollution à court terme au moyen d'échantillons moyennés sur 3,5 jours proportionnels au temps, à raison d'au moins un échantillon partiel par heure. La concentration moyennée sur 3,5 jours correspond à la charge à laquelle les organismes sont exposés lors des tests écotoxicologiques (Wittmer et al. 2014). Les exigences chiffrées pour la pollution à court terme reposent par conséquent sur des tests écotoxicologiques qui durent en moyenne trois à quatre jours. Le relevé des pics de concentration n'est de ce fait pas absolument nécessaire d'un point de vue écotoxicologique.

Analyses complémentaires : les concentrations maximales réelles peuvent être nettement plus élevées que les concentrations détectées dans les échantillons moyennés sur 3,5 jours (Dax et al. 2020). Les exigences chiffrées relatives à la pollution à court terme sont applicables en tout temps, ce qui signifie que les valeurs relevées dans chaque échantillon doivent être conformes, quelle que soit la stratégie d'échantillonnage. Il peut être judicieux de compléter la surveillance de routine par des campagnes spéciales basées sur un échantillonnage avec une haute résolution temporelle. Ces mesures permettent de visualiser des pics de concentration qui surviennent en l'espace de quelques heures.

Conditions minimales : l'évaluation de la pollution à court terme dans un cours d'eau impose, de façon similaire à l'appréciation de la pollution continue, de prélever des échantillons moyennés sur 3,5 jours pendant au moins quatre mois.

Exigence générale de 0,1 µg/l pour les pesticides organiques

Stratégie d'échantillonnage recommandée : dans le cadre de la surveillance de routine, le plus judicieux est de prélever des échantillons moyennés sur deux semaines ou des échantillons moyennés sur 3,5 jours, afin de pouvoir contrôler simultanément le respect de l'exigence générale de 0,1 µg/l pour les pesticides organiques et des exigences relatives aux pollutions continue ou à court terme. L'exigence générale de 0,1 µg/l pour les pesticides organiques doit être respectée à tout moment, ce qui signifie que tous les échantillons doivent être conformes, quelle que soit la stratégie d'échantillonnage.

Analyses complémentaires : les concentrations maximales réelles peuvent être nettement plus élevées que les concentrations détectées dans les échantillons moyennés sur 3,5 jours ou les échantillons moyennés sur deux semaines (Dax et al. 2020). Comme pour la pollution à court terme, il peut donc être judicieux de réaliser en complément à la surveillance de routine des campagnes spéciales basées sur un échantillonnage avec une haute résolution temporelle.

Conditions minimales : l'évaluation de la conformité d'un cours d'eau à l'exigence générale de 0,1 µg/l pour les pesticides organiques est soumise aux conditions minimales prévues respectivement pour la pollution continue et la pollution à court terme.

3.2 Analyses

Substances à analyser

Les analyses portent, pour autant que cela soit faisable en mobilisant des ressources proportionnées, sur toutes les substances organiques pour lesquelles des exigences chiffrées sont définies dans les tableaux 3 et 4 de l'annexe 2, ch. 11, al. 3, OEaux (cf. point 1.3). Il s'agit, d'une part, de l'ensemble des substances assorties d'exigences chiffrées basées sur des critères écotoxicologiques et, d'autre part, de tous les pesticides organiques auxquels s'applique l'exigence générale de 0,1 µg/l.

Plusieurs centaines de pesticides sont autorisés en Suisse (voir la définition des pesticides sous 1.4). Analyser tous les pesticides organiques soumis à l'exigence générale de 0,1 µg/l représente une charge trop lourde dans le cadre de la surveillance de routine. Ainsi, en plus des pesticides expressément mentionnés dans l'annexe 2, il convient de doser en priorité les pesticides organiques qui sont régulièrement attendus ou détectés à des concentrations supérieures à 0,1 µg/l à des fins de contrôle de la conformité à l'exigence générale. Ces pesticides organiques sont mesurés à l'échelle nationale dans le cadre de NAWA (Doppler et al. 2020). Il est recommandé de tenir également compte de cette sélection de pesticides dans les autres programmes de monitoring.

Certaines substances nécessitent le recours à une méthode d'analyses spéciale pour atteindre des limites de quantification suffisamment basses (Rösch et al. 2019). Or une telle méthode augmente considérablement les coûts. De plus, les limites de quantification atteignables compte tenu de l'état de la technique peuvent se révéler plus élevées que les exigences chiffrées (cf. Limites de quantification sous 3.2). Il peut aussi arriver que toutes les exigences chiffrées ne puissent pas être contrôlées sur certains sites. Si toutes les substances soumises à des exigences chiffrées ne peuvent pas être analysées ou que les limites de quantification sont trop élevées, l'interprétation des résultats devra en tenir compte (cf. chapitre 4).

Concentration totale et fraction dissoute

Les exigences chiffrées s'appliquent à la concentration totale (OFEV 2020a). En général, cependant, seule la fraction dissoute est analysée dans le cadre de la surveillance de routine. Cette pratique est conforme au rapport explicatif relatif à la modification de l'OEaux du 1^{er} avril 2020 : « *Pour les substances qui apparaissent principalement en phase dissoute, seule la concentration dissoute peut être déterminée ; autrement dit, il ne faut pas analyser la part liée aux particules* » (OFEV 2020a).

Le Log K_{ow}¹ est un bon indicateur de la répartition d'une substance entre la phase particulaire et la phase dissoute. Le Log K_{ow} des substances réglementées dans l'OEaux est indiqué dans les dossiers EQS (Centre Ecotox 2020). Les substances présentant un Log K_{ow} inférieur à quatre sont essentiellement présentes dans la phase dissoute. Pour certaines, cependant, le partage effectif entre phase particulaire et phase dissoute peut s'écarter fortement du Log K_{ow}. Une analyse de la phase dissoute ne suffira pas pour les substances ayant un

¹ Log K_{ow} est le logarithme du coefficient de partage octanol/eau d'une substance. Une valeur de Log K_{ow} plus élevée indique que la substance aura tendance à se fixer sur les matières organiques, plutôt qu'à être présente dans la phase dissoute.

Log K_{ow} supérieur à quatre ainsi que pour un certain nombre d'autres substances. Il convient en l'espèce de déterminer la concentration totale, pour autant que cela soit faisable sans faire augmenter d'une manière déraisonnable les coûts pour les analyses.

Stéréoisomères

Des stéréoisomères de la même substance peuvent avoir différents effets écotoxicologiques. Ainsi, s'agissant du R/S-métolachlore par exemple, la forme S-métolachlore est la plus active. Les substances composées de plusieurs isomères sont de ce fait accompagnées dans les tableaux 3 et 4 de l'annexe 2, ch. 11, al. 3, OEaux du numéro CAS de chacun des isomères ou du mélange des isomères avec lequel les tests écotoxicologiques ont été effectués (OFEV 2020a). Le rapport explicatif relatif à la modification de l'OEaux du 1^{er} avril 2020 précise toutefois : « *Pour ces substances, il suffit d'analyser les mélanges d'isomères présents dans les eaux ; il n'est pas nécessaire d'analyser les isomères séparément.* » (OFEV 2020a).

Limites de quantification

Les limites de quantification des méthodes d'analyse retenues doivent, pour autant que cela soit faisable en mobilisant des ressources raisonnables, être inférieures d'au moins 50 % à l'exigence chiffrée la plus basse pour la substance donnée. Du fait de limitations analytiques, il peut arriver que les limites de quantification de certaines substances soit plus élevées que les exigences chiffrées basées sur des critères écotoxicologiques correspondantes. Le cas échéant, il n'est pas possible de détecter une pollution si cette dernière reste inférieure à la limite de quantification. Exemple d'actualité, état 2022 : pour la cyperméthrine, une limite de quantification de 0,3 ng/l est généralement atteinte, alors que l'exigence fixée pour la pollution continue est dix fois plus basse (0,03 ng/l).

3.3 Assurance qualité

Pour que les données de mesure obtenues soient correctes et exploitables, il est impératif de respecter des normes de qualité lors du prélèvement, du transport et du stockage des échantillons ainsi que lors de leur préparation et de leur analyse (cf. également à ce sujet l'art. 48, al. 1, OEaux).

Prélèvement d'échantillons

En principe, le prélèvement d'échantillons est effectué dans des flacons en verre, et les tuyaux de prélèvement sont fabriqués dans des matériaux appropriés, comme l'acier, le téflon ou le silicone. Pour certaines substances cependant, les standards usuels peuvent prévoir un autre matériau plus approprié pour les flacons et les tuyaux de prélèvement. Les échantillons doivent, si possible, être réfrigérés. Le prélèvement doit de plus être effectué de telle sorte qu'il reflète la concentration de l'ensemble du profil transversal. Pour ce faire, deux possibilités : soit l'eau est complètement mélangée au point de prélèvement, soit il faut prélever des échantillons représentatifs sur différentes zones du profil transversal. Cette deuxième méthode est appliquée, par exemple, à la station internationale de surveillance des eaux du Rhin à la hauteur de Bâle.

Transport et stockage des échantillons

Les échantillons doivent être acheminés vers le laboratoire aussi rapidement que possible et ne doivent pas se réchauffer sensiblement durant le transport. Les échantillons doivent de plus être maintenus réfrigérés pendant le stockage, de préférence à une température comprise entre 0 et 4 °C. Il est impératif de les congeler à environ -20 °C s'ils doivent être conservés plusieurs semaines avant que les mesures soient réalisées.

Pour l'analyse de substances qui se dégradent rapidement dans la phase aqueuse (p. ex. les pyréthriinoïdes), il convient de préparer les échantillons pour l'analyse dans les jours qui suivent leur arrivée au laboratoire, de préférence le jour même.

Analyse

L'analyse doit être effectuée par un laboratoire disposant d'une accréditation ISO 17025 ou d'une qualification équivalente. La participation à des essais interlaboratoires couvrant le plus grand nombre possible de substances soumises à des exigences chiffrées basées sur des critères écotoxicologiques et d'autres pesticides analysés dans le cadre de NAWA constitue un élément important de l'assurance qualité. Un essai interlaboratoire axé sur la sélection de substances de NAWA est proposé et réalisé tous les ans par le réseau de compétence des laboratoires cantonaux de protection des eaux et de l'environnement (Lab'Eaux). Le cas échéant, Lab'Eaux définit des exigences complémentaires en matière d'assurance qualité.

Documentation des données

Les données de mesure doivent essentiellement être enregistrées individuellement. La donnée de mesure correspond soit à la valeur déterminée par analyse dans un échantillon pour une substance donnée, soit à une valeur calculée à partir de plusieurs échantillons. Chaque donnée de mesure doit au minimum être accompagnée des informations complémentaires suivantes, qui doivent être documentées et accessibles (Tableau 1).

Tableau 1 : Conditions minimales applicables à la documentation des données

Données de mesure (mesure directe)	Données de mesure (calculées à partir d'échantillons partiels)
Donnée de mesure	Donnée de mesure
Unité	Unité
Nom de la substance ou numéro d'identification	Nom de la substance ou numéro d'identification
Numéro d'identification de l'échantillon	Numéro d'identification de l'échantillon (numéros supplémentaires pour les échantillons calculés)
	Indication que la valeur a été calculée à partir d'échantillons partiels
	Indication des échantillons originaux à partir desquels la valeur a été calculée (p. ex. numéro d'identification des échantillons originaux)
Limite de quantification	
Mode d'échantillonnage (proportionnel au temps, proportionnel au débit, ponctuel)	Mode d'échantillonnage (proportionnel au temps, proportionnel au débit)
Lieu (coordonnées XY)	Lieu (coordonnées XY)
Début du prélèvement	Début du prélèvement (premier échantillon partiel)
Fin du prélèvement	Fin du prélèvement (dernier échantillon partiel)
Nature de l'échantillon (eaux de surface, eaux usées, etc.)	Nature de l'échantillon (eaux de surface, eaux usées, etc.)

La liste ci-dessous contient d'autres informations utiles mais non obligatoires :

- identification de la substance (n° CAS, InChIKey², nom du paramètre de la base de données WQM de l'OFEV, etc.) ;
- seuil de détection (le cas échéant) ;
- incertitudes des données de mesure ;
- informations sur le lieu du prélèvement (photos, particularités, etc.) ;
- informations sur la méthode d'analyse employée (LC, GC, etc.) ;
- indication si l'analyse porte sur la fraction totale ou la fraction dissoute ;
- informations sur le programme de mesures (p. ex. NAWA) ;
- autres renseignements tirés du protocole de prélèvement ;
- pour les échantillons composites : limite de quantification calculée.

² http://inchi.info/inchikey_overview_en.html

4. Évaluation

4.1 Évaluation d'une donnée de mesure

Une fois remplies les conditions prévues pour l'échantillonnage, la sélection des substances et les analyses (chapitre 3), la qualité du cours d'eau est appréciée à l'aune des exigences chiffrées fixées dans les tableaux 3 et 4 de l'annexe 2, ch. 11, al. 3, OEaux. Pour détecter une pollution, il faut contrôler la conformité des différentes données de mesure aux exigences correspondantes. Sont également considérées comme des données de mesure les moyennes calculées à partir d'échantillons partiels d'une durée appropriée, conformément au chapitre 3. La comparaison entre la donnée de mesure et l'exigence permet d'obtenir une évaluation conformément au Tableau 2.

Tableau 2 : Schéma d'évaluation

Les données de mesure sont évaluées sur une échelle d'appréciation à deux niveaux à l'aune des exigences chiffrées des tableaux 3 et 4 de l'annexe 2, ch. 11, al. 3, OEaux.

Code couleur	Comparaison	Interprétation
 rouge	Donnée de mesure > Exigence	L'exigence n'est pas respectée. Une pollution est présente.
 bleu	Donnée de mesure ≤ Exigence	Aucune pollution n'est détectée*.

* L'absence de pollution n'est toutefois pas prouvée pour autant. Motifs de cette incertitude : les limites de quantification pour certaines substances étaient supérieures à l'exigence correspondante ou les pics de concentration sont si fortement dilués dans les échantillons composites que la donnée de mesure qui en résulte est inférieure à l'exigence. De plus, les mesures ne portent généralement pas sur toutes les substances susceptibles de polluer les eaux.

4.2 Évaluation en fonction de l'utilisation pour l'approvisionnement en eau potable

L'OEaux prévoit différentes exigences chiffrées pour les pesticides organiques selon que les eaux servent ou non à l'approvisionnement en eau potable. Dans les eaux superficielles qui servent à l'approvisionnement en eau potable, la valeur est fixée à 0,1 µg/l pour chaque substance, sauf exigence chiffrée fondée sur des critères écotoxicologiques plus basse (tableau 4 de l'annexe 2, ch. 11, al. 3, OEaux). Ainsi, selon que les eaux servent ou non à l'approvisionnement en eau potable, l'évaluation doit se baser sur des exigences différentes. L'encadré ci-après et la Figure 3 définissent dans quelles circonstances des eaux servent à l'approvisionnement en eau potable.

Encadré : Définition des eaux servant à l'approvisionnement en eau potable

Concernant les exigences chiffrées pour les pesticides organiques, le tableau 4 de l'annexe 2, ch. 11, al. 3, OEaux opère une distinction entre les eaux superficielles « qui servent à l'approvisionnement en eau potable » et celles « qui ne servent pas à l'approvisionnement en eau potable ».

Sont considérées comme des eaux qui servent à l'approvisionnement en eau potable les eaux superficielles suivantes :

a) eaux directement utilisées pour l'approvisionnement en eau potable :

- eaux dans lesquelles est prélevée de l'eau qui sera traitée pour fournir de l'eau potable. En 2022, il s'agit principalement des grands lacs tels que le lac de Bienne, le lac de Constance, le Léman ou le lac de Zurich ;

b) eaux indirectement utilisées pour l'approvisionnement en eau potable :

- eaux dans lesquelles est prélevée de l'eau qui rejoindra par infiltration une installation d'alimentation artificielle des eaux souterraines afin de recharger une nappe souterraine exploitée pour l'approvisionnement en eau potable (p. ex. stations de pompage Lange Erlen des Services industriels de la Ville de Bâle ou de Hardwasser AG à MuttENZ) ;
- eaux à proximité immédiate desquelles un captage d'eaux souterraines extrait des eaux de surface de l'eau destinée à la production d'eau potable (définition dans l'aide pratique de l'OFEV relative aux captages d'eaux souterraines proches des berges, en cours d'élaboration), exploitant ainsi une majeure partie (au moins 50 %) des eaux d'infiltration du cours d'eau.

Les exigences chiffrées pour les eaux servant à l'approvisionnement en eau potable se rapportent à l'utilisation concrète d'un plan ou d'un cours d'eau pour la production d'eau potable. Il en résulte que cette exigence doit être respectée dans les eaux superficielles à l'endroit du prélèvement direct ou indirect des eaux, et non dans l'ensemble du cours d'eau, a fortiori du bassin versant. En cas d'utilisation directe ainsi que de prélèvement à des fins d'alimentation artificielle des eaux souterraines, l'appréciation de la qualité de l'eau se fait par conséquent à l'endroit du dispositif de prélèvement (n^{os} 1 à 3 sur la Figure 3). Lorsqu'un captage d'eaux souterraines est situé à proximité immédiate d'eaux de surface, l'appréciation se fait à la hauteur des drains ou du tronçon d'infiltration (n^o 4 sur la Figure 3).

a) Utilisation directe pour l'approvisionnement en eau potable

b) Utilisation indirecte pour l'approvisionnement en eau potable

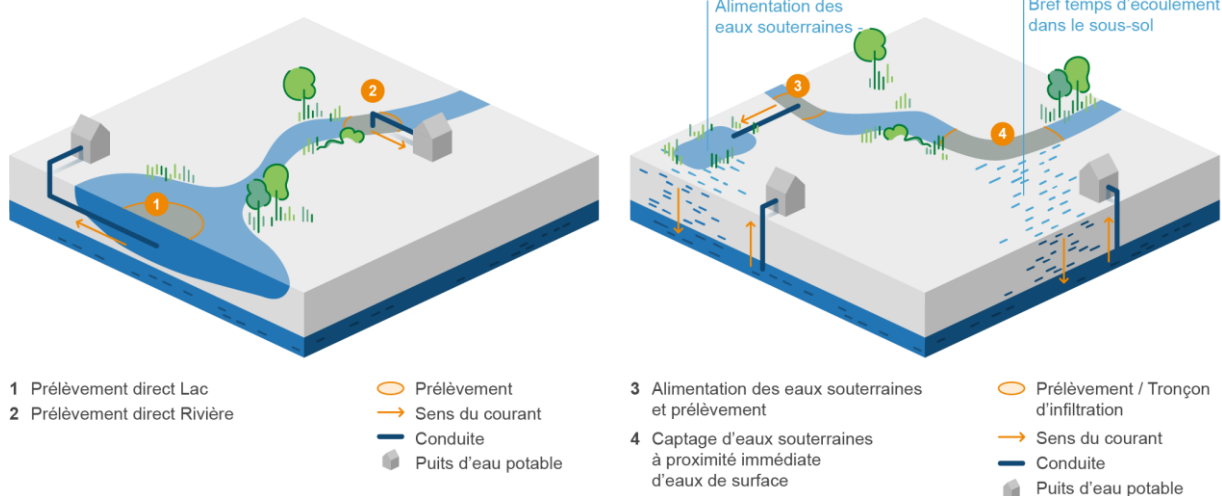


Figure 3 : Eaux servant à l'approvisionnement en eau potable
Représentation schématique de la définition

4.3 Agrégation de l'évaluation

Si une donnée de mesure d'un échantillon n'est pas conforme à l'exigence chiffrée, l'échantillon est considéré comme pollué. En règle générale, on évalue les données de mesure groupées sur une période d'un an. Un tronçon examiné est de ce fait considéré comme pollué durant cette période si au moins une donnée de mesure ne respecte pas l'exigence chiffrée (Figure 4). Lors de la représentation des résultats, il convient de faire une distinction entre l'exigence chiffrée générale de 0,1 µg/l pour les pesticides organiques et les exigences chiffrées basées sur des critères écotoxicologiques pour les pollutions à court terme et continues (cf. figures 5 à 7 sous 4.4). L'art. 47 OEaux règle la marche à suivre lorsqu'une pollution est détectée (cf. point 4.6).

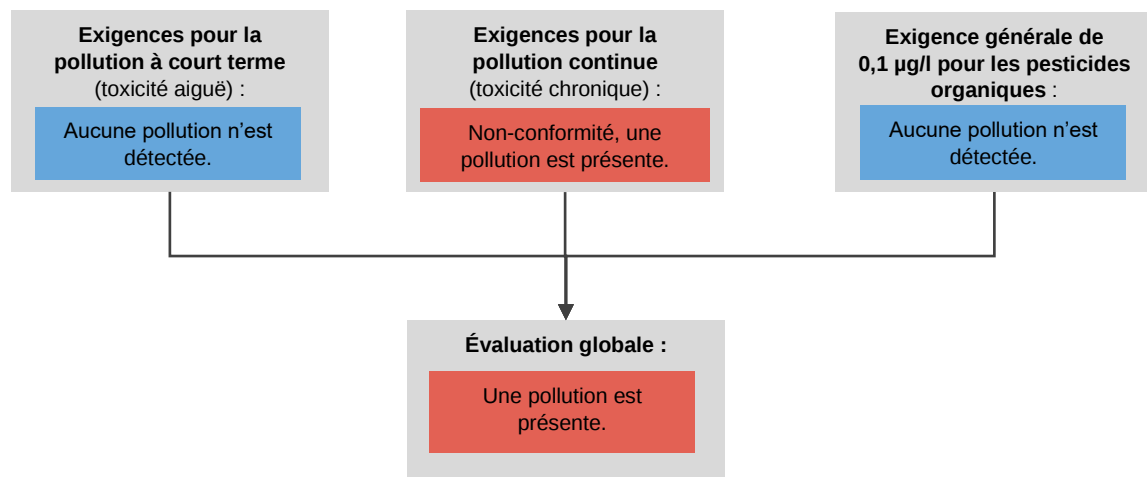


Figure 4 : Agrégation de l'évaluation

Dans cet exemple, au moins une exigence en matière de pollution continue n'est pas respectée (en rouge). L'exigence générale de 0,1 µg/l pour les pesticides organiques et les exigences pour la pollution à court terme sont quant à elles respectées (en bleu). L'évaluation globale résultant de leur agrégation conclut à la présence d'une pollution dans le tronçon considéré.

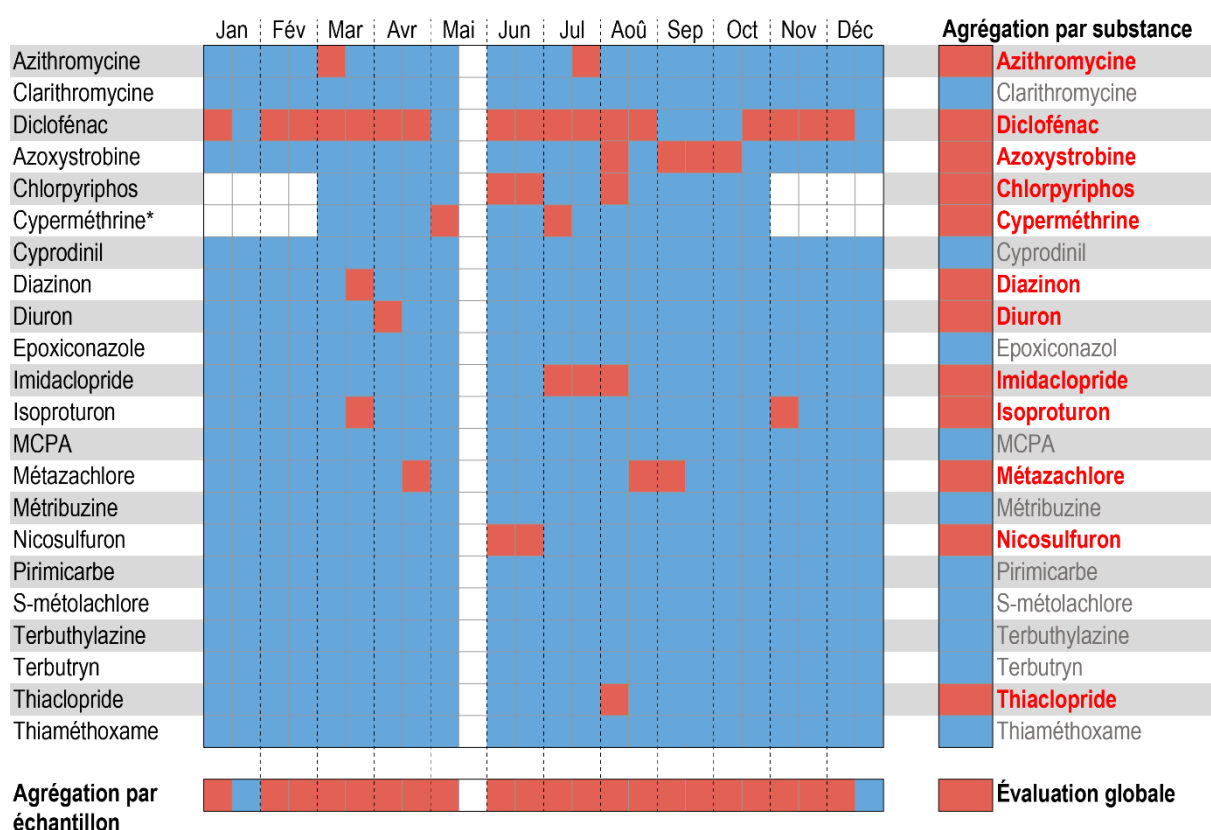
4.4 Représentation de l'évaluation

L'appréciation d'un cours d'eau au regard des exigences chiffrées fixées dans les tableaux 3 et 4 de l'annexe 2, ch. 11, al. 3, OEaux est représentée au moyen de trois graphiques (cf. exemples des figures 5 à 7). Ce mode de représentation tient compte des différentes exigences chiffrées (cf. point 1.3) :

- a) exigences relatives à une pollution continue (toxicité chronique) ;
- b) exigences relatives à une pollution à court terme (toxicité aiguë) ;
- c) exigence générale de 0,1 µg/l pour les pesticides organiques qui ne sont pas soumis à une exigence chiffrée fondée sur des critères écotoxicologiques.

L'évaluation se base sur toutes les données de mesure disponibles et appropriées. Les conditions devant être remplies par les données de mesure afin que l'on puisse évaluer les pollutions à court terme et les pollutions continues sont définies sous 3.1.

Les figures 5 à 7 illustrent l'évaluation de la qualité des eaux qui ne servent pas à l'approvisionnement en eau potable. L'appréciation des eaux servant à l'approvisionnement en eau potable est représentée de manière analogue, hormis que les substances sur lesquelles portent les évaluations visées aux lettres a) à c) ne sont pas les mêmes dans les tableaux 3 et 4 de l'annexe 2, ch. 11, al. 3, OEaux.



* La limite de quantification est supérieure à l'exigence chiffrée (état 2022), si bien que la présence d'une pollution ne peut être exclue dans les échantillons dans lesquels aucune pollution n'a été détectée.

Légende

- Une pollution est présente
- Aucune pollution n'est détectée
- Absence de valeur mesurée (échantillon manquant ou substance non analysée)

Figure 5 : Exemple de représentation pour la pollution continue

Évaluation de la qualité des eaux d'un tronçon fictif sur la base des exigences chiffrées relatives à la pollution continue (état de l'OEaux le 1^{er} janvier 2022), dans un cours d'eau ne servant pas à l'approvisionnement en eau potable. Pour l'évaluation, seules sont utilisées des valeurs mesurées dans des échantillons moyennés sur deux semaines et des valeurs calculées à partir d'échantillons plus courts représentant une période de deux semaines.

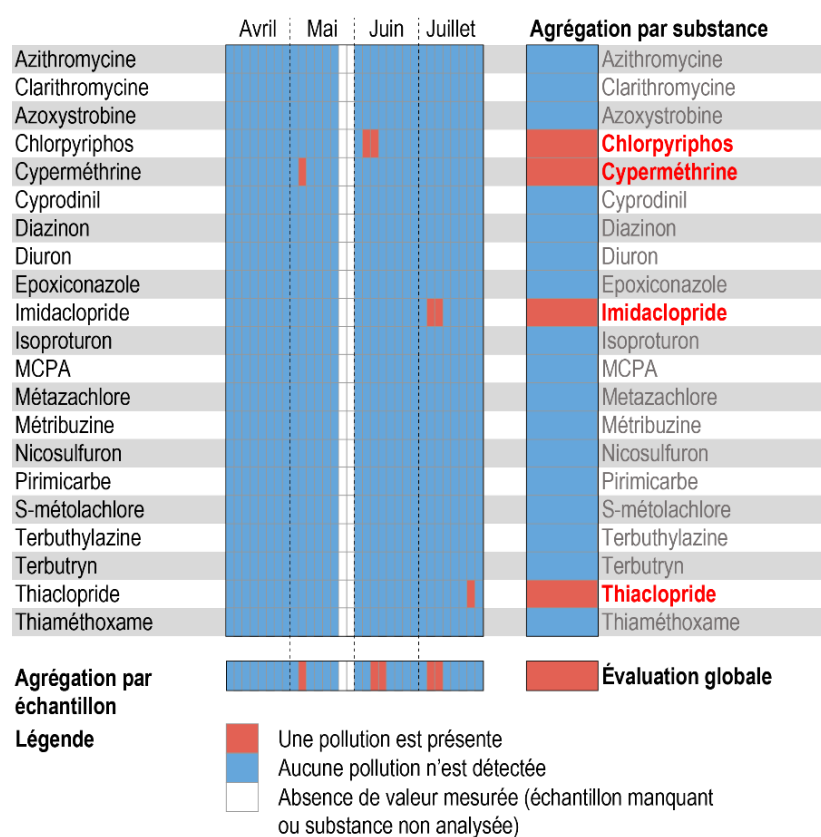


Figure 6 : Exemple de représentation pour la pollution à court terme

Évaluation de la qualité des eaux d'un tronçon fictif sur la base des exigences chiffrées relatives à la pollution à court terme (état de l'OEaux le 1^{er} janvier 2022), dans un cours d'eau ne servant pas à l'approvisionnement en eau potable. Pour l'évaluation toutes les valeurs mesurées avec la plus haute résolution temporelle disponible sont utilisées.

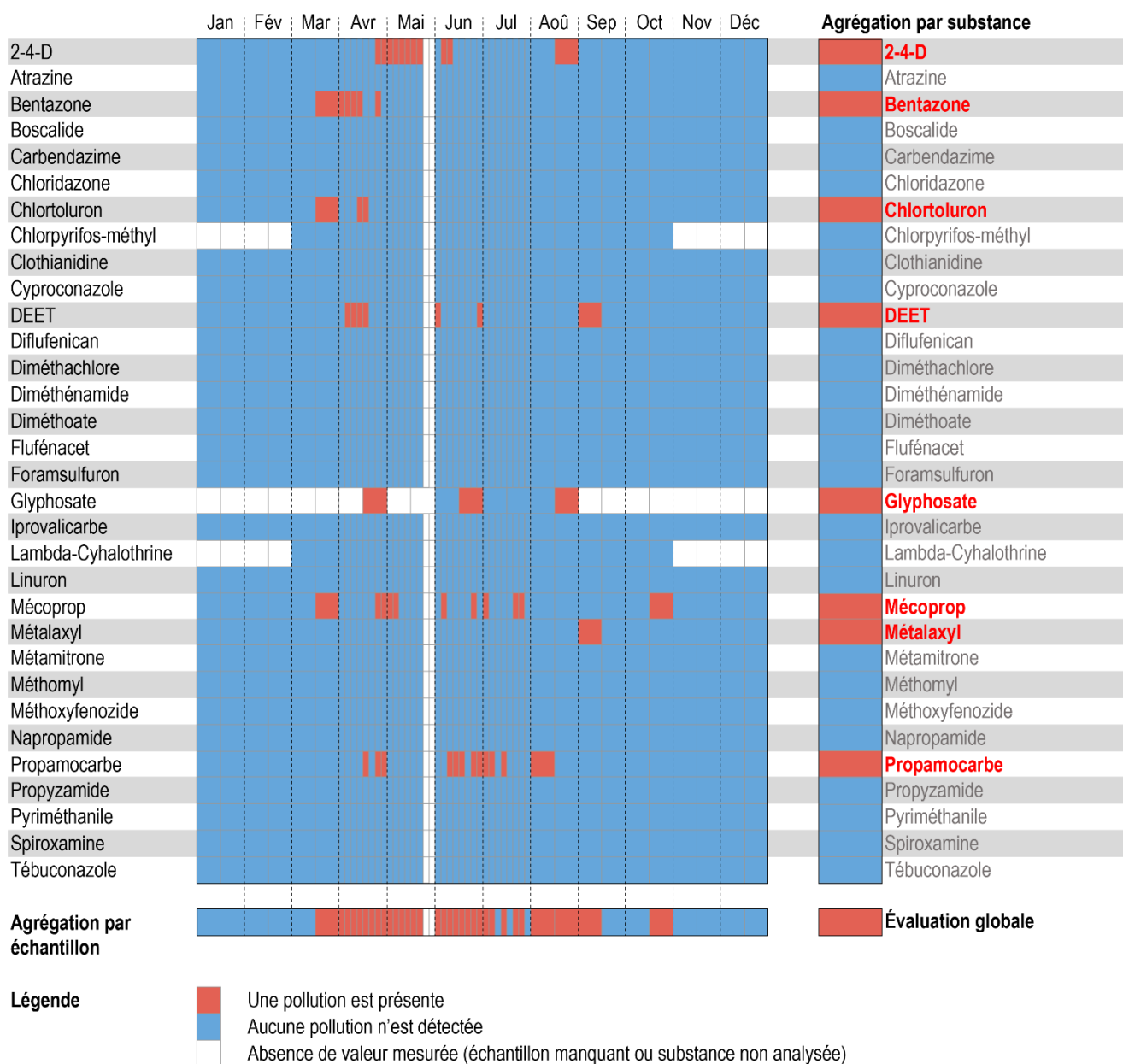


Figure 7 : Exemple de représentation concernant l'exigence générale de 0,1 µg/l pour les pesticides organiques qui ne sont pas soumis à une exigence chiffrée basée sur des critères écotoxicologiques

Évaluation de la qualité des eaux d'un tronçon fictif sur la base de l'exigence générale de 0,1 µg/l pour les pesticides organiques (état de l'OEaux le 1^{er} janvier 2022), dans un cours d'eau ne servant pas à l'approvisionnement en eau potable. Pour l'évaluation toutes les valeurs mesurées avec la plus haute résolution temporelle disponible sont utilisées.

4.5 Contexte des résultats

Dans la mesure du possible, l'évaluation globale devrait être contextualisée de façon descriptive. En l'occurrence, il s'agit d'aborder les trois aspects suivants :

Ampleur de la pollution. L'ampleur de la pollution peut notamment être décrite comme suit :

- part de la période d'étude pendant laquelle une pollution a été détectée (p. ex. deux mois sur une année) ;
- nombre de substances dont l'exigence chiffrée n'est pas respectée ;
- nombre de données de mesure sur une période d'étude qui ne respectent pas les exigences chiffrées ;
- importance des pollutions (quotient de la concentration mesurée maximale et de l'exigence numérique) ;
- nature de la pollution (à court terme, continue ou non-respect de l'exigence de 0,1 µg/l pour les pesticides organiques).

Lacunes. Étant donné qu'il est impossible en pratique de réaliser des analyses des eaux qui soient absolument exhaustives, l'évaluation peut présenter des « angles morts » (cf. points 3.1 et 3.3), p. ex. :

- si toutes les substances réglementées ne peuvent pas être analysées ;
- si l'échantillonnage n'a pas été effectué tout au long de l'année ;
- si les limites de quantification sont plus élevées que les exigences numériques.

Représentativité du site étudié. Seul un nombre limité de tronçons peuvent généralement être évalués au moyen d'analyses des eaux. Il est donc primordial de contextualiser les sites étudiés. Le chapitre 2 contient des indications sur comment procéder.

4.6 Mesures nécessaires et suite des opérations

L'art. 47 OEaux prévoit qu'en cas de non-respect des exigences relatives à la qualité des eaux, les autorités cantonales sont tenues de déterminer et d'évaluer la nature et l'ampleur de la pollution, de déterminer les causes de cette dernière, d'évaluer l'efficacité des mesures possibles et de prendre les mesures requises. L'évaluation de l'ampleur de la pollution et de l'efficacité des mesures est laissée à la discrétion des cantons.

Des interventions prioritaires sont requises en présence de menaces pour l'approvisionnement en eau potable ou d'atteintes aux organismes aquatiques. Tel est le cas lorsque les exigences chiffrées basées sur des critères écotoxicologiques ne sont pas respectées, ou si des eaux servant à l'approvisionnement en eau potable ne satisfont pas à l'exigence générale de 0,1 µg/l pour les pesticides organiques. En revanche, lorsque l'exigence générale de 0,1 µg/l pour les pesticides organiques n'est pas tenue dans des eaux qui ne servent *pas* à l'approvisionnement en eau potable, le canton peut se concentrer sur les mesures les plus efficaces et les plus simples à mettre en œuvre. L'autorité cantonale peut s'appuyer sur la publication « Évaluation écotoxicologique des micropolluants » (Junghans et Wittmer, en prép.) pour déterminer les mesures nécessaires au cas par cas.

5. Annexe

5.1 Calcul des concentrations moyennes sur deux semaines

La présente section décrit comment il convient de calculer les concentrations moyennes sur deux semaines à partir de plusieurs échantillons partiels plus courts ou sur la base d'un échantillon composite de moins de treize jours, mais de plus de dix jours. Les données de mesure et les concentrations moyennes ainsi calculées sont évaluées par rapport aux exigences chiffrées relatives à la pollution continue.

Un nombre pair d'échantillons partiels est indiqué pour le calcul des concentrations moyennes sur deux semaines à partir de plusieurs échantillons composites plus courts : il est ainsi possible de les calculer à partir de la moyenne des valeurs de deux échantillons composites hebdomadaires, de quatre échantillons moyennés sur 3,5 jours ou d'échantillons moyennés sur 14 jours.

Dans le cadre de la surveillance de routine, il faut généralement calculer les concentrations moyennes sur deux semaines lorsque les sites font l'objet d'une investigation à une plus haute résolution temporelle en continu ou temporairement. C'est par exemple le cas de la station de surveillance des eaux du Rhin de Weil am Rhein (échantillons composites journaliers) et de quelques sites de NAWA, sur lesquels sont prélevés des échantillons moyennés sur 3,5 jours pendant quatre mois.

Traitement des données inférieures aux limites de quantification. Les données de mesure inférieures à la limite de quantification sont remplacées par une concentration de 0 avant le calcul de la concentration moyenne sur deux semaines. Cette approche conservatrice permet de s'assurer qu'une éventuelle pollution puisse être décelée sur la base de valeurs réelles et non d'hypothèses. Elle implique également que la concentration réelle est sans aucun doute égale ou supérieure à la concentration moyenne sur deux semaines calculée.

Traitement des lacunes dans les données. Chaque échantillonnage peut présenter des lacunes dans les données, pour diverses raisons. La marche à suivre pour calculer les concentrations moyennes sur deux semaines malgré ces lacunes est décrite à l'aide de situations courantes (tableaux 3 à 6). Les principes suivants s'appliquent par ailleurs :

- Si l'on dispose d'échantillons partiels sur au moins dix jours au total, il est possible de calculer la concentration moyenne sur deux semaines à partir de ces données, à condition que l'on attribue la valeur 0 à la concentration sur la période pour laquelle aucun échantillon n'est disponible.
- Une prolongation artificielle de la durée d'échantillonnage (
- Tableau 6) ne doit pas entraîner de chevauchement entre des périodes de prélèvement. Autrement dit, des données de mesure ne peuvent être utilisées que pour calculer une seule concentration moyennée sur deux semaines.
- Étant donné que la durée d'échantillonnage des échantillons partiels peut varier, les concentrations sont prises en compte proportionnellement au temps.

Tableau 3 : Exemple de calcul avec un échantillon moyenné sur de 3,5 jours manquant

Le premier échantillon composite moyenné sur deux semaines est complet : la concentration moyenne est calculée à partir des quatre échantillons moyennés sur 3,5 jours. Il manque un de ces échantillons composites au cours de la deuxième semaine. Vu que les trois échantillons partiels disponibles couvrent une période de 10,5 jours, et donc plus de dix jours, il est possible de calculer une concentration moyenne pour deux semaines sur cette base, en prenant une concentration égale à 0 pour l'échantillon partiel manquant.

Échantillons partiels				Échantillon composite		
N°	Début du prélèvement	Fin du prélèvement	Durée [h]	Concentration [ng/l]	Période	Concentration moyenne sur deux semaines [ng/l]
1	01.01. 00:00	04.01. 12:00	84	5	01.01. 00:00– 15.01. 00:00	$\frac{15 \text{ ng/l} = (5 \cdot 84 + 20 \cdot 84 + 3 \cdot 84 + 32 \cdot 84) \text{ ng/l}\cdot\text{h}}{336 \text{ h}}$
2	04.01. 12:00	08.01. 00:00	84	20		
3	08.01. 00:00	11.01. 12:00	84	3		
4	11.01. 12:00	15.01. 00:00	84	32		
1	15.01. 00:00	18.01. 12:00	84	48	15.01. 00:00– 29.01. 00:00	$\frac{17 \text{ ng/l} = (48 \cdot 84 + 0 \cdot 84 + 7 \cdot 84 + 12 \cdot 84) \text{ ng/l}\cdot\text{h}}{336 \text{ h}}$
2	18.01. 12:00	22.01. 00:00	84	Échantillon manquant : 0		
3	22.01. 00:00	25.01. 12:00	84	7		
4	25.01. 12:00	29.01. 00:00	84	12		

Tableau 4 : Exemple de calcul avec deux échantillons moyennés sur 3,5 jours manquants

Le premier échantillon composite sur deux semaines est complet : la concentration moyenne est calculée à partir des quatre échantillons moyennés sur 3,5 jours. Il manque deux de ces échantillons composites au cours de la deuxième semaine. Vu que les deux échantillons partiels disponibles couvrent seulement une période de sept jours, et donc moins de dix jours, il n'est pas possible de calculer une concentration moyenne pour deux semaines sur cette base aux fins de l'évaluation de la pollution chronique. Lorsque ce n'est pas l'ensemble de l'échantillon qui manque, mais uniquement les données de mesure pour certaines substances dans certains échantillons, on procède de même pour les substances manquantes.

Échantillons partiels				Échantillon composite		
N°	Début du prélèvement	Fin du prélèvement	Durée [h]	Concentration [ng/l]	Période	Concentration moyenne sur deux semaines [ng/l]
1	01.01. 00:00	04.01. 12:00	84	5	01.01. 00:00– 15.01. 00:00	$\frac{15 \text{ ng/l} = (5 \cdot 84 + 20 \cdot 84 + 3 \cdot 84 + 32 \cdot 84) \text{ ng/l}\cdot\text{h}}{336 \text{ h}}$
2	04.01. 12:00	08.01. 00:00	84	20		
3	08.01. 00:00	11.01. 12:00	84	3		
4	11.01. 12:00	15.01. 00:00	84	32		
1	15.01. 00:00	18.01. 12:00	84	48	15.01. 00:00– 29.01. 00:00	Évaluation de la pollution chronique impossible
2	18.01. 12:00	22.01. 00:00	84	Échantillon manquant		
3	22.01. 00:00	25.01. 12:00	84	Échantillon manquant		
4	25.01. 12:00	29.01. 00:00	84	12		

Tableau 5 : Exemple de calcul en cas de lacunes entre des échantillons partiels

Dans le premier échantillon composite sur deux semaines, la mesure manquante entre le 8 janvier à 8h00 et le 9 janvier à 18h00 est remplacée par une concentration égale à 0. Il est ainsi possible de calculer la concentration moyenne sur deux semaines, puisque la durée totale des échantillons disponibles, de 302 heures, est supérieure à dix jours (240 h). Le deuxième échantillonnage a débuté avec du retard (le 15 janvier, à 10h00 au lieu de minuit). Vu que la durée d'échantillonnage totale du deuxième échantillon composite sur deux semaines est de 326 heures, et donc aussi supérieure à dix jours, il est possible de calculer la concentration moyenne sur deux semaines, en prenant une concentration égale à 0 pour la durée de l'échantillon partiel manquant.

Échantillons partiels				Échantillon composite			
N°	Début du prélèvement	Fin du prélèvement	Durée [h]	Concentration [ng/l]	Période	Durée [h]	Concentration moyenne sur deux semaines [ng/l]
1	01.01. 00:00	04.01. 15:00	87	5	01.01. 00:00– 15.01. 00:00	336	$15 \text{ ng/l} = \frac{(5 \cdot 87 + 20 \cdot 89 + 0 \cdot 34 + 3 \cdot 42 + 32 \cdot 84) \text{ ng/l} \cdot \text{h}}{336 \text{ h}}$
2	04.01. 15:00	08.01. 08:00	89	20			
3	09.01. 18:00	11.01. 12:00	42	3			
4	11.01. 12:00	15.01. 00:00	84	32			
1	15.01. 10:00	18.01. 12:00	74	48	15.01. 00:00– 29.01. 00:00	336	$18 \text{ ng/l} = \frac{(0 \cdot 10 + 48 \cdot 74 + 10 \cdot 84 + 7 \cdot 84 + 12 \cdot 84) \text{ ng/l} \cdot \text{h}}{336 \text{ h}}$
2	18.01. 12:00	22.01. 00:00	84	10			
3	22.01. 00:00	25.01. 12:00	84	7			
4	25.01. 12:00	29.01. 00:00	84	12			

Tableau 6 : Exemple de calcul pour des échantillons composites sur deux semaines représentant moins de treize jours

Les échantillons partiels doivent représenter au moins dix jours. Tel est le cas dans le premier échantillon composite sur 252 heures, il est donc possible de calculer la concentration moyenne sur deux semaines en prenant une concentration égale à 0 pour la durée de l'échantillon partiel manquant. Le deuxième échantillon composite, quant à lui, ne couvre que 192 heures, soit moins de dix jours, ce qui ne permet pas d'évaluer la pollution chronique.

Échantillons partiels				Échantillon composite			
N°	Début du prélèvement	Fin du prélèvement	Durée [h]	Concentration [ng/l]	Période	Durée [h]	Concentration moyenne sur deux semaines [ng/l]
1	01.01. 00:00	11.01. 12:00	252	5	01.01. 00:00– 15.01. 12:00	336	$3.75 \text{ ng/l} = \frac{(5 \cdot 252 + 0 \cdot 84) \text{ ng/l} \cdot \text{h}}{336 \text{ h}}$
1	15.01. 00:00	23.01. 00:00	192	48	15.01. 00:00– 23.01. 00:00	336	Évaluation de la pollution chronique impossible

5.2 Nombre minimal d'échantillons pour l'évaluation de la pollution continue

Il est prescrit sous 3.1 qu'il est impératif de recueillir au minimum huit échantillons composites sur deux semaines pour pouvoir contrôler si des eaux présentent des pollutions continues. Ce minimum est basé sur une analyse statistique des données sur les micropolluants de NAWA pour l'année 2018 (Doppler et al. 2020). Cette analyse statistique avait pour but de déterminer le nombre minimal d'échantillons permettant d'obtenir avec une grande probabilité une évaluation globale correcte dans la plupart des cours d'eau. La méthodologie et les résultats de l'analyse sont décrits ci-après.

Description des données de NAWA pour 2018. Dans les petits cours d'eau, le non-respect des exigences chiffrées concernait principalement les pesticides, d'avril à octobre. Dans les cours d'eau de taille moyenne, des dépassements ont été observés pour les pesticides d'avril à octobre ainsi que pour les médicaments, tout au long de l'année dans certains cas. Les grands cours d'eau étaient moins souvent pollués par des pesticides, mais plus fréquemment par des médicaments. Les très grands cours d'eau et les grandes cours d'eau respectaient généralement les exigences.

Pour l'analyse statistique, on peut distinguer deux cas de figure :

- **Cas n° 1 :** Au moins une exigence chiffrée n'était pas respectée dans un ou plusieurs échantillons. L'évaluation globale correcte est par conséquent formulée comme suit : « Une pollution était présente ».
- **Cas n° 2 :** Toutes les données de mesure dans tous les échantillons étaient conformes aux exigences chiffrées. Dans ce cas, l'évaluation correcte est la suivante : « Aucune pollution n'a été détectée ».

Cas n° 1 : La probabilité $q_{1_Ech_exig_respect}$ que les exigences soient respectées dans un échantillon individuel d'un cours d'eau donné est calculée comme suit :

$$q_{1_Ech_exig_respect} = \frac{\# \text{ Nombre d'échantillons où l'exigence est respectée}}{\# \text{ Nombre d'échantillons sur l'ensemble de la période}}$$

L'évaluation globale est erronée ($q_{Evaluation_err}$) si, en présence d'un nombre réduit d'échantillons n , les exigences sont respectées dans tous les échantillons prélevés, alors que les exigences n'étaient pas respectées dans au moins un échantillon dans le présent cas n°1. Pour n échantillons, la probabilité que l'évaluation globale soit erronée ($q_{Evaluation_err}$) est calculée de la manière suivante :

$$q_{Evaluation_err} = q_{1_Ech_exig_respect}^n$$

Il en résulte que la probabilité que l'évaluation soit correcte ($q_{Evaluation_corr}$) pour n échantillons peut être calculée selon la formule suivante :

$$q_{Evaluation_corr} = 1 - q_{Evaluation_err}$$

Cas n° 2 : La probabilité que l'évaluation globale soit correcte ($q_{Evaluation_corr}$) pour n échantillons est en l'espèce toujours de 100 % (on ne peut faire d'erreur puisque les valeurs de tous les échantillons sont conformes aux exigences) :

$$q_{Evaluation_corr} = q^n = 100 \%$$

Scénarios calculés. Les probabilités $q_{Evaluation_corr}$ d'obtenir une évaluation globale juste ont été calculées pour les scénarios suivants :

- $n = 1, 2, 3, 4, 6, 8$ et 10 échantillons ;
- pour chacun des sites ;
- pour les différentes tailles de cours d'eau (petits, moyens et grands cours d'eau ainsi que les très grands cours d'eau et grands cours d'eau) ;
- pour l'année complète et pour la période d'avril à octobre uniquement.

Résultats. Les résultats de l'analyse statistique sont représentés dans les figures 8 et 9. Ils permettent de tirer les conclusions générales suivantes :

- Plus le nombre d'échantillons (n) prélevés est important, plus les chances de voir juste sont élevées, c'est-à-dire que la probabilité $q_{Evaluation_corr}$ augmente.
- La probabilité $q_{Evaluation_corr}$ s'accroît lorsque le prélèvement des échantillons est réparti entre avril et octobre.
- La probabilité $q_{Evaluation_corr}$ est nettement inférieure dans les petits cours d'eau, en comparaison avec les cours d'eau de taille moyenne ou grande. Il faut donc globalement davantage d'échantillons dans les petits cours d'eau.

- Les grands cours d'eau nécessitent le moins d'échantillons, puisqu'ils présentent des pollutions quasiment toute l'année (en général par des médicaments).
- Dans les très grands cours d'eau, la probabilité $q_{\text{Evaluation_corr}}$ avoisine les 100 %, car les pollutions y sont rares. Il n'en est pas moins nécessaire d'y prélever des échantillons tout au long de l'année pour détecter des pollutions isolées, comme celles survenues dans l'Aar en 2018, par exemple.

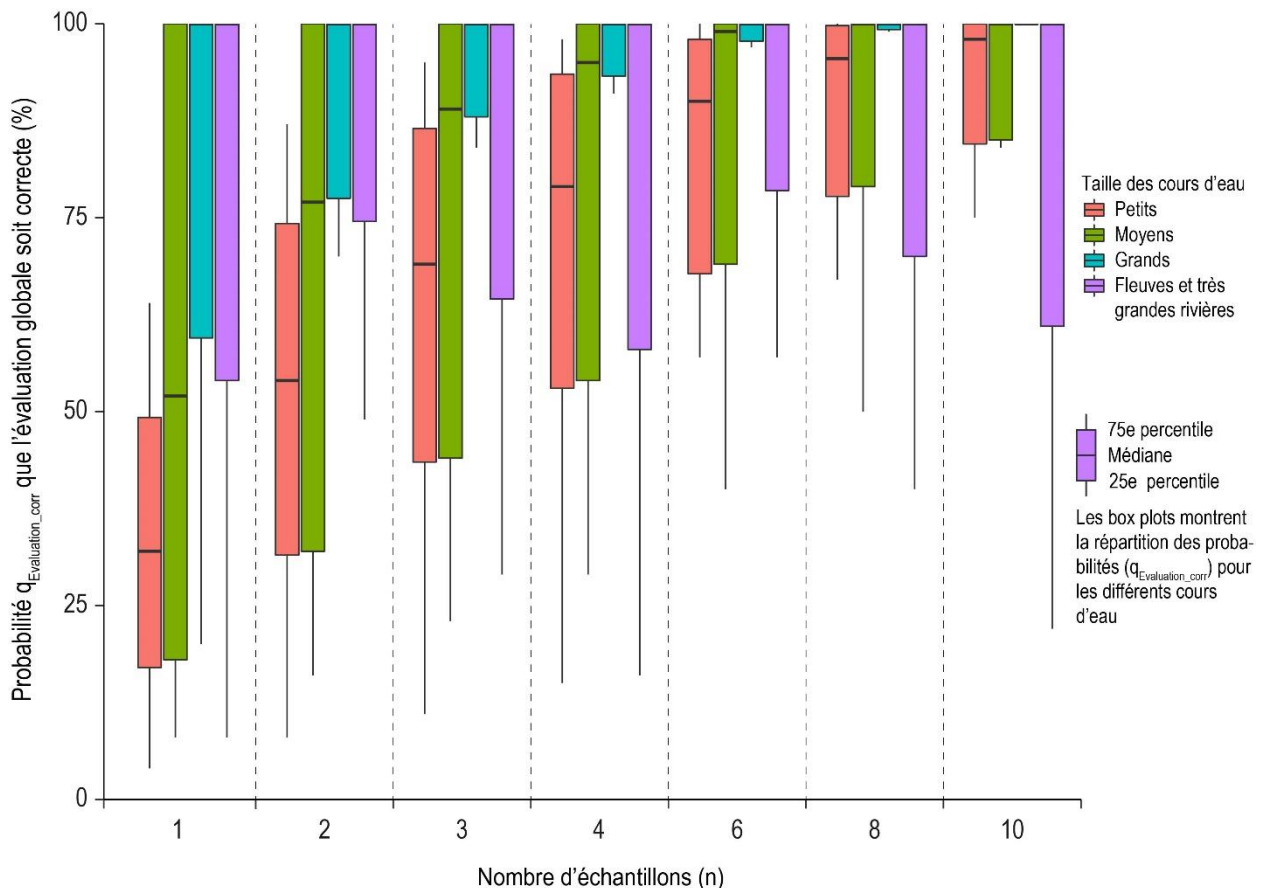


Figure 8 : Résultats de l'analyse statistique en fonction de la taille des cours d'eau en vue de déterminer le nombre minimal d'échantillons composites sur deux semaines nécessaire dans la détection de pollutions continues

Les box plots représentent la répartition de la probabilité selon laquelle l'évaluation globale est correcte avec n échantillons pour les différents sites.

Définition de la condition minimale

L'évaluation devrait être fondée sur les mêmes conditions quelles que soient les eaux, raison pour laquelle la même condition minimale a été formulée pour tous les cours d'eau. Les critères applicables au nombre minimal d'échantillons (n) ont été fixés comme suit :

- Une **majorité** des sites étudiés (75 %, ligne inférieure du box plot) doit
- présenter une **probabilité élevée** ($q_{\text{Evaluation_corr}} > 80 \%$) de faire l'objet d'une évaluation globale correcte.

En considérant l'ensemble des sites, ces critères sont remplis avec au moins huit échantillons par an. La probabilité que l'évaluation soit correcte est en outre légèrement plus élevée lorsque les échantillons sont prélevés entre avril et octobre (Figure 9).

Bien que les analyses basées sur huit échantillons par an garantissent avec une meilleure probabilité la justesse de l'évaluation globale, il convient d'interpréter les résultats avec prudence. Ces derniers ne permettent en effet de tirer que des conclusions très limitées quant au nombre de dépassements, à l'identification des substances problématiques, etc.

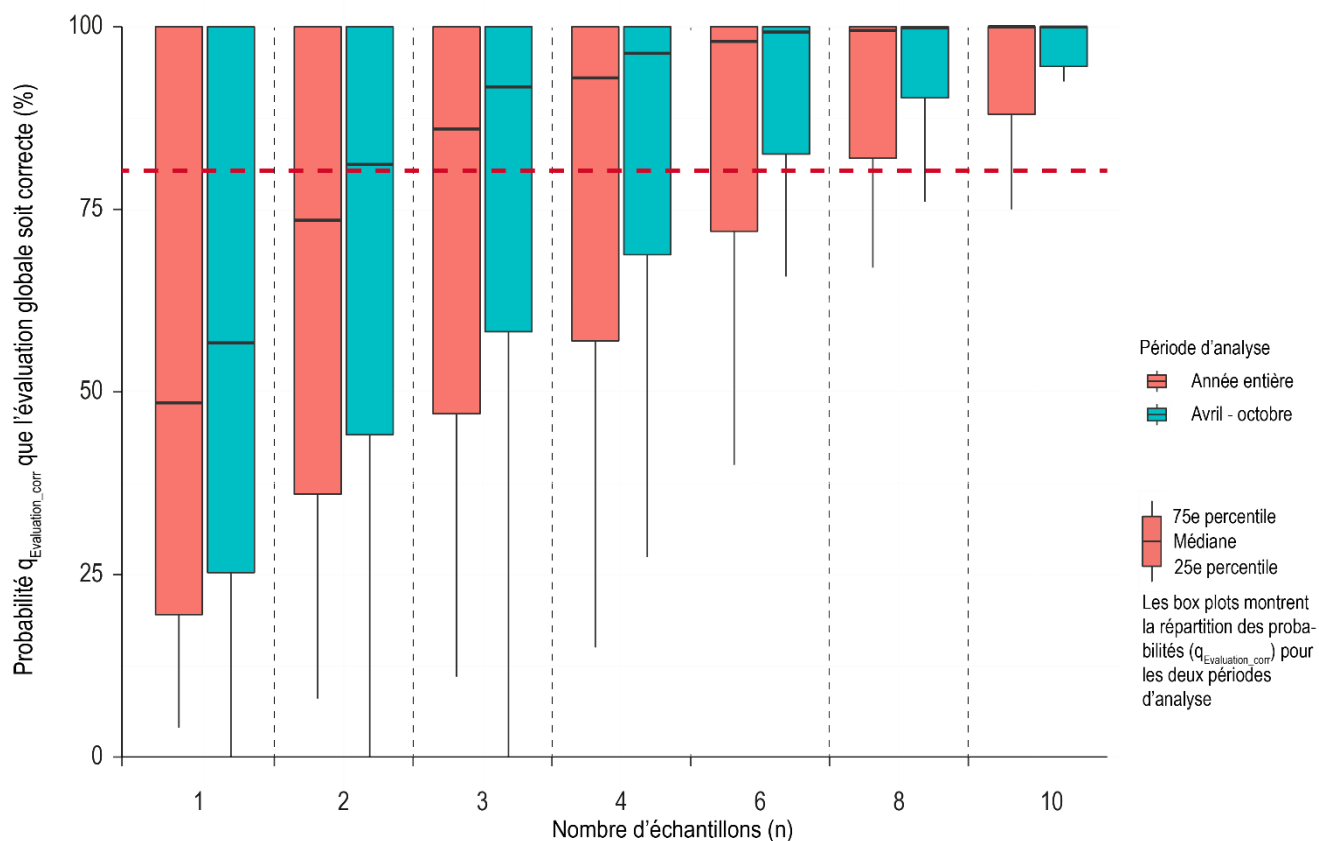


Figure 9 : Résultats de l'analyse statistique en fonction de la période d'étude en vue de déterminer le nombre minimal d'échantillons composites sur deux semaines nécessaire dans la détection de pollutions continues

Les box plots représentent la répartition de la probabilité selon laquelle l'évaluation globale est correcte avec n échantillons. La ligne rouge en pointillés correspond à la probabilité de 80 %, laquelle est atteinte avec au moins huit échantillons dans la plupart des cours d'eau.

6. Bibliographie

Alder S., Herweg K., Liniger H., Prasuhn V. 2013 : Technisch-wissenschaftlicher Bericht zur Gewässeranschlusskarte der Erosionsrisikokarte der Schweiz (ERK2) im 2x2-Meter-Raster. Universität de Berne et Station de recherches Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Berne et Zurich : 37 p.

Anliker S., Loos M., Comte R., Ruff M., Fenner K., Singer H. 2020a : Assessing Emissions from Pharmaceutical Manufacturing Based on Temporal High-Resolution Mass Spectrometry Data. *Environmental Science & Technology* 54(7), 4110–4120.

Anliker S., Patrick M., Fenner K., Singer H. 2020b : Quantification of Active Ingredient Losses from Formulating Pharmaceutical Industries and Contribution to Wastewater Treatment Plant Emissions. *Environmental Science & Technology* 54(23), 15046–15056.

OFEV 2020a : Rapport explicatif relatif à l'ordonnance du DETEC concernant la modification de l'annexe 2, ch. 11, al. 3, de l'ordonnance du 28 octobre 1998 sur la protection des eaux (OEaux, RS 814.201). Office fédéral de l'environnement (OFEV), Berne : 9 p.

OFEV (éd.) 2019 : Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. Macrozoobenthos – niveau R (région). *L'environnement pratique* n° 1026, Berne : 58 p.

OFEV 2020b : Observation nationale de la qualité des eaux de surface (NAWA) – Données sur les micropolluants 2018–2019. Office fédéral de l'environnement (OFEV), <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/eaux/info-specialistes/etat-des-eaux/etat-des-cours-deau/qualite-des-cours-deau/micropolluants-dans-les-cours-deau.html> [État le 28 février 2022].

Braun C., Gälli R., Leu C., Schindler Y., Wittmer I., Strahm I., Munz N. 2015 : Micropolluants dans les cours d'eau provenant d'apports diffus. Analyse de la situation. État de l'environnement n° 1514, Office fédéral de l'environnement (OFEV), Berne : 80 p.

OFEFP 1998 : Système modulaire gradué. Informations concernant la protection des eaux n° 26, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), Berne : 43 p.

Dax A., Stravs M., Stamm C., Ort C., la Cecilia D., Singer H. 2020 : MS2field: Mikroverunreinigungen mobil messen – Zeitlich hochaufgelöste Messungen zeigen relativistisches Ausmass akuter Gewässerbelastungen. *Aqua & Gas* 12, 14–19.

Doppler T., Dietzel A., Wittmer I., Grelot J., Rinta P., Kunz M. 2020 : Micropolluants dans le monitoring des eaux de surface – Extension de NAWA TREND et premiers résultats de la campagne 2018. *Aqua & Gas* 7/8, 44–53.

Doppler T., Mangold S., Wittmer I., Spycher S., Comte R., Stamm C., Singer H., Junghans M., Kunz M. 2017 : Hohe PSM-Belastung in Schweizer Bächen Mikroverunreinigungen im Gewässermonitoring – NAWA-SPEZ-Kampagne untersucht Bäche in Gebieten intensiver landwirtschaftlicher Nutzung. *Aqua & Gas* 4, 46–56.

Doppler, T., Camenzuli, L., Hirzel, G., Krauss, M., Lück, A. et Stamm, C. (2012) : Spatial variability of herbicide mobilisation and transport at catchment scale: insights from a field experiment.

Gälli R., Ort C., Schärer M. 2009 : Micropolluants dans les eaux. Évaluation et réduction des rejets provenant des réseaux d'eaux urbaines. Connaissance de l'environnement n° 0917, Office fédéral de l'environnement (OFEV), Berne : 105 p.

Ilg C., Maurer V., Menetrey N., Elber F., Sturzenegger M., Flury R., Alter R., Küng M. 2021 : Gestion des eaux urbaines par temps de pluie – Module Analyse de la qualité des eaux. Association suisse des professionnels de la protection des eaux (VSA), Glattbrugg : 66 p.

Junghans M., Wittmer I. en prép. : Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer – Ökotoxikologische Beurteilung von Spurenstoffen. Association suisse des professionnels de la protection des eaux (VSA) et Centre Ecotox, Dübendorf.

Liechi P. 2010 : Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau – Analyses physico-chimiques, nutriments. L'environnement pratique n° 1005, Office fédéral de l'environnement (OFEV), Berne : 44 p.

Liess M., van der Ohe P. 2005 : Analyzing effects of pesticides on invertebrate communities in streams. *Environmental Toxicology and Chemistry* 24(4), 954–965.

Centre Ecotox 2020 : Propositions de critères de qualité pour les eaux de surface.
https://www.centreecotox.ch/prestations-expert/criteres-de-qualite-environnementale/propositions-de-criteres-de-qualite/?_ga=2.58666089.2122683507.1655126604-517189789.1655126604 [État le 28 février 2022].

Ort C. 2007 : Mikroverunreinigungen – Nationales Stoffflussmodell. *Aqua & Gas* 11, 853–859.

Rösch A., Beck B., Hollender J., Stamm C., Singer H., Doppler T., Junghans M. 2019 : Geringe Konzentrationen mit grosser Wirkung. Nachweis von Pyrethroid- und Organophosphat-Insektiziden in Schweizer Bächen im pg/L-Bereich. *Aqua & Gas* 11, 54–66.

Sinniger J., Niederhauser P. 2011 : Pestiziduntersuchungen bei den Hauptmessstellen Töss bei Freienstein und Aabach bei Mönchaltorf. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL), Zurich : 65 p.

Spycher S., Mangold S., Doppler T., Junghans M., Wittmer I., Stamm C., Singer H. 2018 : Pesticide Risks in Small Streams – How to Get as Close as Possible to the Stress Imposed on Aquatic Organisms. *Environmental Science & Technology* 52(8), 4526-4535.

Strahm I., Munz N., Leu C., Wittmer I., Stamm C. 2013 : Landnutzung entlang des Schweizer Gewässernetzes. *Aqua & Gas* 5, 36–44.

VSA 2019 : Gestion des eaux urbaines par temps de pluie – Directive. Association suisse des professionnels de la protection des eaux (VSA), Glattbrugg.

Wittmer I., Junghans M., Stamm C., Singer H. 2014 : Micropolluants – Stratégie d'évaluation pour les micropolluants organiques de sources non ponctuelles. Étude réalisée sur mandat de l'OFEV. Eawag, Dübendorf : 106 p.

Wittmer, I.K., Bader, H.P., Scheidegger, R., Singer, H., Lück, A., Hanke, I., Carlsson, C. and Stamm, C. (2010) : Significance of urban and agricultural land use for biocide and pesticide dynamics in surface waters. **Water Research 44, 2850-2862.**

Wunderlin P., Gulde R., Zimmermann-Steffens S. 2022 : Analyse de situation. Apports de substances issues de l'industrie et de l'artisanat dans les eaux. Association suisse des professionnels de la protection des eaux (VSA), Glattbrugg.