

FORTE POLLUTION DES RUISSEAUX SUISSES PAR LES PESTICIDES

CAMPAGNE NAWA SPEZ: ÉTUDE DE 5 PETITS COURS D'EAU DE ZONES D'AGRICULTURE INTENSIVE

Dans la présente étude, la contamination par les produits phytosanitaires (PPS) de cinq petits cours d'eau situés en zone d'agriculture intensive a été caractérisée. Plus de 200 substances actives ont été recherchées et 128 détectées. Les concentrations individuelles étaient élevées – certaines atteignant 40 000 ng/l – et les critères de qualité écotoxicologique déterminés pour les expositions chroniques ou aiguës étaient dépassés pour 32 composés. Dans trois des bassins étudiés, un dépassement de plusieurs mois a été observé pour au moins un composé et un critère de qualité. D'après certaines estimations, il semblerait que de tels dépassements soient également probables dans les zones d'agriculture moins intensive.

Tobias Doppler, Plateforme Qualité de l'eau, VSA; Simon Mangold, Eawag (auteurs principaux)*

*Irene Wittmer, Plateforme Qualité de l'eau, VSA; Simon Spycher; Rahel Comte; Christian Stamm; Heinz Singer, Eawag
Marion Junghans, Centre Ecotox; Manuel Kunz, OFEV*

ZUSAMMENFASSUNG

NAWA-SPEZ-KAMPAGNE: HOHE PSM-BELASTUNGEN IN SCHWEIZER BÄCHEN

Landwirtschaftliche Anwendungen sind wichtige Quellen für Einträge von Pflanzenschutzmitteln (PSM) in Schweizer Oberflächengewässer. Es bestehen jedoch Wissenslücken bezüglich a) dem Ausmass der Belastung in kleinen Fliessgewässern, b) tatsächlichen Konzentrationsspitzen über die gesamte Applikationsperiode und c) dem Substanzspektrum. In der vorliegenden NAWA-SPEZ-Studie wurden deshalb fünf kleine Fliessgewässer ausgewählt, deren Einzugsgebiete (EZG) landwirtschaftlich intensiv genutzt werden, um diese Lücken zu füllen. Es wurden kontinuierlich von März bis August Proben genommen. Während grösserer Niederschlagsereignisse wurde mit der höchsten Auflösung gemessen, d. h. es wurden einzelne Halbtagesmischproben untersucht. In Phasen ohne Niederschläge wurden die Halbtagesmischproben zu unterschiedlich langen Mischproben zusammengefügt (24-h bis 24-Tages-Mischproben).

Es wurden 213 PSM untersucht und 128 in mindestens einer Probe gefunden. Die Einzelstoff-Konzentrationen erreichten bis zu 40 000 ng/l. In mehr als der Hälfte der Proben lag die Konzen-

CONTEXTE ET OBJECTIFS

En Suisse, l'agriculture est une source importante de pollution des eaux de surface par les produits phytosanitaires (PPS). Les études réalisées jusqu'à présent montrent que, dans les cours d'eau de petite taille et de taille moyenne, ces composés sont les polluants les plus problématiques avec les métaux lourds [1]. Des concentrations excédant aussi bien l'exigence de qualité de 0,1 µg/l formulée dans l'Ordonnance sur la protection des eaux (OEaux) que les critères de qualité écotoxicologique ont été fréquemment mesurées [par ex. 2, 3]. Ce problème concerne avant tout les petits cours d'eau, mais peut également s'étendre à ceux de taille moyenne [1, 3].

Dans le programme d'observation nationale de la qualité des eaux de surface (NAWA), la Confédération et les cantons relèvent la qualité de l'eau dans toute la Suisse [4]. Ce programme national est complété par des campagnes de mesures cantonales. Dans le programme d'observation de longue durée, NAWA TREND, la qualité de l'eau est évaluée au niveau d'une centaine de stations. Pour l'heure, NAWA TREND ne mesure cependant

* Contact: tobias.doppler@vsa.ch

pas les produits phytosanitaires et son réseau de stations ne comporte pas de petits cours d'eau. De ce fait, les données disponibles sur la pollution des ruisseaux par les PPS proviennent d'études cantonales et d'un nombre limité d'études spécifiques. L'exploitation de ces données a révélé des lacunes [3], notamment en ce qui concerne les aspects suivants:

A) Représentativité spatiale

Les petits cours d'eau représentent 75% de la longueur du réseau hydrographique suisse, mais n'abritent que 25% des stations de mesure des programmes cantonaux et ne fournissent que 20% des données de pollution collectées [3].

B) Représentativité temporelle et échantillonnage

Plus de 40% des échantillons collectés jusqu'ici dans de petits cours d'eau provenaient de prélèvements ponctuels [1]. Or ni ces prélèvements ni, d'ailleurs, les échantillons moyennés sur plusieurs jours ne permettent d'appréhender correctement la pollution réelle [5]. Il n'existe que très peu d'études dans lesquelles la pollution est mesurée à intervalles de temps rapprochés pendant les événements pluvieux et pendant toute la période d'application des produits phytosanitaires.

C) Représentativité chimique et choix des substances

Dans la plupart des études, les analyses ont porté sur une portion relativement faible des substances potentiellement présentes. Ainsi, alors que 250 PPS organiques de synthèse sont actuellement autorisés, moins de 44 substances ont été dosées dans 75% des échantillons [3].

Les observations spécifiques pour lesquelles le programme NAWA SPEZ a été conçu donnent la possibilité de combler ces lacunes dans le cadre de l'observation nationale de la qualité des eaux et d'aborder des problématiques particulières. Une première campagne a été effectuée de mars à juillet 2012 pour étudier la diversité des pesticides dans les cours d'eau moyens [2]. Elle a permis d'aborder les questions évoquées plus haut aux points (B) et (C). L'objectif de la deuxième campagne de NAWA SPEZ présentée ici était de combler les lacunes constatées au niveau de l'évaluation de la contrainte chimique et écotoxicologique subie par les petits cours d'eau du fait de la présence des produits phytosanitaires. Pour beaucoup de petits ruisseaux, la principale source de pollution est l'agriculture. L'habitat humain ne joue souvent qu'un rôle secondaire dans la mesure où la plupart des stations d'épuration et des déversoirs d'orage sont installés au bord de cours d'eau moyens ou de grande taille [1]. L'étude s'est donc concentrée sur la pollution des petits cours d'eau par les PPS issus de l'agriculture. Elle devait inclure différentes cultures fortes consommatrices de produits phytosani-

taires et couvrir un large éventail de ces produits. Il importait d'autre part d'appréhender toute la période d'application des pesticides et d'effectuer des prélèvements très rapprochés lors des pluies pour détecter les pics de pollution.

METHODES

CHOIX DES SITES D'ÉTUDE

Le choix s'est porté sur cinq petits cours d'eau dont les bassins versants sont le lieu d'une agriculture intensive et qui ne reçoivent ni effluents d'épuration ni rejets de déversoirs d'orage. La part de zones urbaines dans ces bassins est faible à moyenne. Elle va de 0 à 17% dans les zones étudiées (tab. 1).

Les bassins versants sélectionnés couvrent une grande variété de cultures et notamment celles des fruits, des légumes et de la vigne qui sont très consommatrices de PPS. Ces bassins sont situés dans différentes régions de Suisse et se distinguent fortement les uns des autres par leurs caractéristiques physiques, notamment topographiques et pluviométriques. Le bassin de la Tsatonire, en Valais, est très escarpé et occupé par les vignes sur près d'un quart de sa surface. Les bassins de l'Eschelisbach et du Weierbach ont un relief peu accidenté et sont en partie drainés. Dans celui de l'Eschelisbach, les cultures de plein champ côtoient surtout des cultures intensives de fruits et petits fruits. Celui du Weierbach est dominé par les cultures de plein champ, mais comporte également une surface maraîchère relativement importante. Le Mooskanal dans le Seeland bernois et le Canale Piano di Magadino sont deux cours d'eau de plaine dont les bassins versants sont occupés par une agriculture intensive centrée sur les cultures de plein champ et de légumes. Dans la plaine de Magadino, ces champs sont complétés de quelques vignobles, de cultures de légumes sous serre et, dans la partie supérieure du bassin versant, de larges surfaces consacrées à la forêt et à l'habitat humain.

REPRÉSENTATIVITÉ DES BASSINS D'ÉTUDE ET RÉGIMES DE PRÉCIPITATIONS

Concernant la part relative occupée par les différentes formes d'agriculture dans les bassins versants, les sites sélectionnés sont représentatifs d'une longueur variable du total des cours d'eau suisses (fig. 1). Ainsi, 9430 km¹ de cours d'eau ont des bassins dans lesquels la part des terres arables ou cultures de plein champ est plus élevée que dans celui du Canale Piano di Magadino alors qu'ils ne totalisent que 630 km¹ dans le cas du Mooskanal [6]. Les bassins sélectionnés présentent ainsi une intensité de production végétale supérieure à la moyenne nationale tout en étant chacun représentatifs de plus de 10% des tronçons influencés par l'utilisation du sol considérée. Ils ne correspondent donc pas à des cas isolés ou exceptionnels

Cours d'eau	Canton	Rang de Strahler	Surface du BV (km ²)	Part de surface occupée dans le BV [%]			
				Cultures de plein champ	Fruits	Vigne	Zones urbaines
Mooskanal	BE	2	3,4	65	0	0	8
Weierbach	BL	1	1,6	52	3	0	14
Eschelisbach	TG	2	2,0	29	13	0	0
Canale Piano di Magadino	TI	4	9,0	15	0	3	17
Tsatonire	VS	2	2,4	0	1	22	11

Tab. 1 Utilisation du sol dans les bassins versants (BV) étudiés / Landnutzung in den untersuchten Einzugsgebieten (BV)

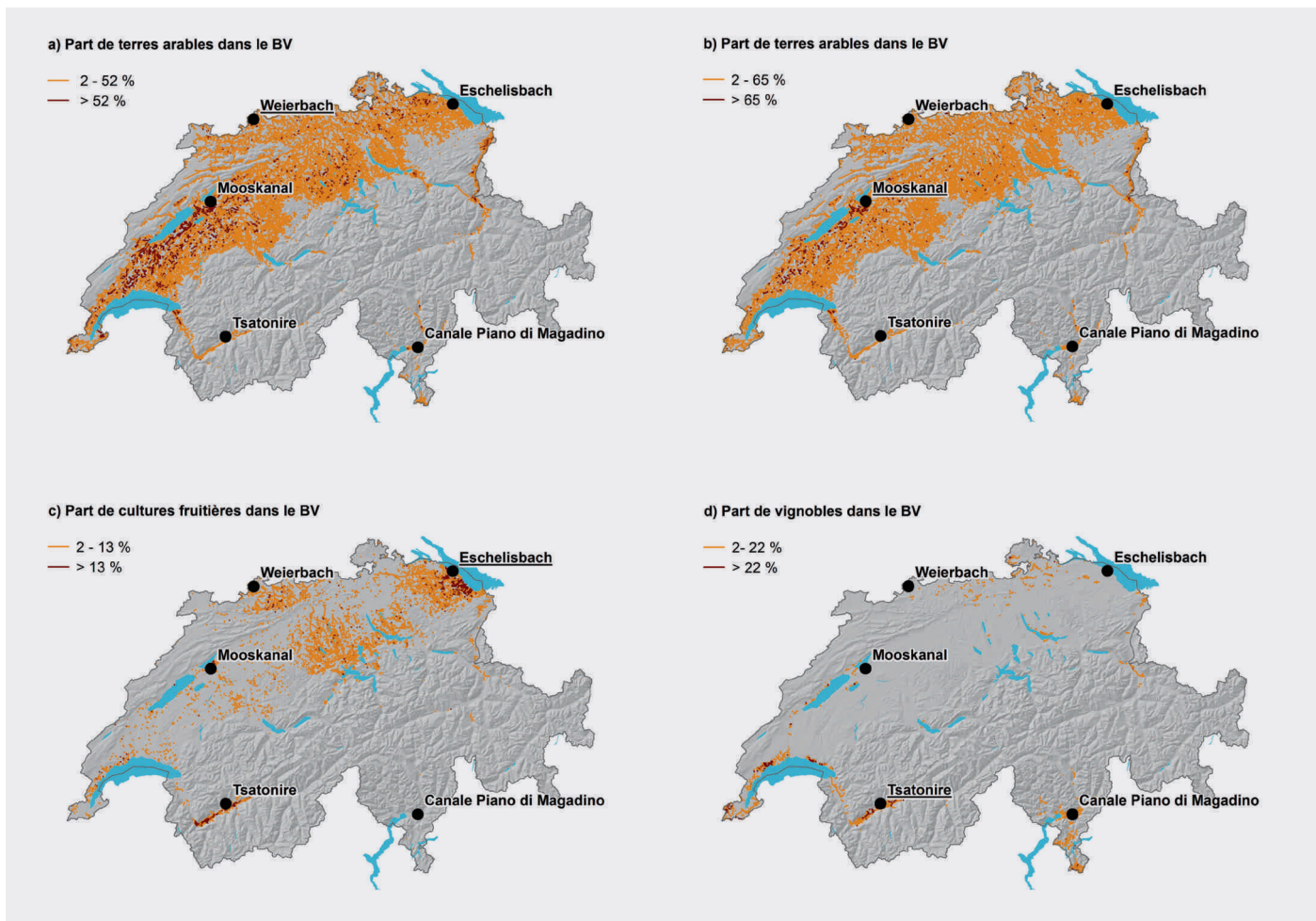


Fig. 1 Réseau hydrographique et sites d'étude. Sont représentés en marron foncé les tronçons dont le bassin présente une part de terres arables supérieure ou égale à celle du BV du Weierbach (a), une part de terres arables supérieure ou égale à celle du BV du Mooskanal (b), une part de cultures fruitières supérieure ou égale à celle du BV de l'Eschelisbach (c) ou une part de vignes supérieure ou égale à celle du BV de la Tsatonire (d). Sont représentés en marron clair les tronçons influencés par la culture en question. Les parts de culture de moins de 2% ne sont pas représentées.[†]

Fliessgewässernetz der Schweiz und Untersuchungsstandorte. Dunkelbraun sind die Fließstrecken, die einen gleich hohen oder höheren Ackerlandanteil wie im EZG Weierbach (a), einen gleich hohen oder höheren Ackerlandanteil wie im EZG Mooskanal (b), einen gleich hohen oder höheren Obstanteil wie im EZG Eschelisbach (c) oder einen gleich hohen oder höheren Rebenanteil wie im EZG Tsatonire (d) haben. Hellbraun sind alle Fließstrecken, die durch die jeweilige Kultur beeinflusst sind, Kulturanteile < 2% im EZG sind nicht dargestellt.[†]

comme en témoignent les lignes marron foncé dans la figure 1 qui indiquent les tronçons dont les bassins versants ont une part plus élevée ou équivalente de la culture considérée sur leur territoire. Enfin, les bassins versants sélectionnés reflètent à notre connaissance les pratiques agricoles usuelles pour les cultures considérées. Leurs spécificités éventuelles seront abordées dans les résultats et la discussion.

Si l'on considère l'ensemble de la période d'étude, aucun des sites ne s'est avéré particulièrement sec ou humide. À l'échelle du mois, toutefois, le total des précipitations a pu présenter des écarts importants par rapport à la médiane de la période

[†] Errata: Dans la version allemande de cet article (Aqua & Gas 4/2017, pp. 46–56) se trouvait une erreur de calcul pour le linéaire. Les chiffres présentés dans cette version traduite sont correctes. La figure 1 est concernée ainsi que trois endroits dans le texte; tous les cas sont indiqués par le symbole †

[†] Korrigendum: In der deutschen Version dieses Artikels (Aqua & Gas 4/2017, S. 46–56) gab es einen Berechnungsfehler bei den Fließstrecken. Die Angaben in dieser französischen Version sind korrekt. Betroffen sind Figur 1 sowie drei Stellen im Text. Alle betroffenen Stellen sind mit † markiert.

1980–2015. Ces variations ne se répartissaient cependant pas de la même manière dans tous les sites d'étude. Ainsi, le mois d'avril a été plutôt sec dans le Valais alors que mars et avril ont été assez humides en Thurgovie, les mois de mai et juin ayant même été anormalement pluvieux dans cette dernière région. Le seul point commun à tous les sites a été un mois de juillet plus sec que la moyenne.

UN ÉCHANTILLONNAGE CONTINU DE MARS À AOÛT

Sur les cinq sites, des échantillons moyennés sur une demi-journée ont été prélevés en continu de début mars à fin août 2015 à l'aide d'échantillonneurs automatiques (ISCO 6712). Chacun de ces échantillons était composé de 16 échantillons unitaires de 50 ml prélevés toutes les 45 minutes. De cette manière, 1800 échantillons, soit 360 par site, ont été collectés sur toute la période d'étude. En raison de pannes ayant causé de courtes interruptions sur certains sites, la durée de collecte des échantillons n'est pas la même partout, variant de 156 à 180 jours. Les échantillons ont été recueillis, transportés et stockés dans des flacons en verre. Ils ont été récoltés une fois par semaine, puis envoyés

à l'Eawag où ils ont été conservés à -20°C avant d'être préparés et analysés.

En raison du travail demandé par les analyses, tous les 1800 échantillons n'ont pas été analysés individuellement, mais ils ont été rassemblés en groupes plus ou moins importants de façon à obtenir une résolution temporelle variable selon les événements pluvieux. Étant donné que les pics de concentration les plus importants sont susceptibles de se produire au moment des pluies [7], ces périodes doivent être étudiées avec la résolution maximale et donc à l'aide d'échantillons de demi-journée individuels. Dans les phases sans précipitations, ces échantillons individuels ont été regroupés en échantillons moyennés sur une durée plus ou moins longue (de 24 h à 24 jours). Il a ainsi été possible d'assurer une mesure continue de la pollution pendant toute la période d'étude tout en employant les moyens disponibles avec parcimonie. Du fait des différentes conditions météorologiques, un nombre variable d'échantillons moyennés a été obtenu sur chaque site. Les analyses ont ainsi porté sur 34 à 60 échantillons par cours d'eau, soit 249 échantillons au total, dont la moitié d'une demi-journée et le reste moyenné sur une plus grande période.

213 PRODUITS PHYTO SANITAIRES RECHERCHÉS

Pour évaluer la pollution des cinq cours d'eau par les produits phytosanitaires, la plus grande part possible des substances homologuées en 2015 devait être analysée. L'accent a été mis sur les composés organiques de synthèse ayant une action pesticide. Sur les 257 composés autorisés en 2015, 179 ont pu être analysés (tab. 2). En complément, les analyses ont également porté sur 34 composés qui ont été utilisés au cours des dernières années bien qu'ils soient aujourd'hui proscrits (l'atrazine et le diazinon par exemple). 78 pesticides n'ont pu être détectés avec les méthodes employées. Il s'agit notamment de substances à fort pouvoir d'adsorption comme les pyrèthrinoides ou de substances rapidement dégradables comme le folpet ou l'amitraz.

Pour toutes les substances recherchées, l'analyse a porté sur la fraction dissoute. 20 ml de chaque échantillon filtré ont été concentrés par extraction sur phase solide automatisée (SPE) et analysés par spectrométrie de masse haute résolution en tandem (HRMS/MS, technologie

	Total ²	Herbicides	Fongicides	Insecticides
Homologués				
Nombre de PPS organiques de synthèse à action pesticide homologués en 2015 ¹	257	108	93	52
Recherchés				
Parmi les PPS autorisés en 2015	179	81	64	30
Parmi les PPS déjà proscrits en 2015	34	20	4	10
Total de PPS recherchés	213	101	68	40

¹ Selon l'OPPh [7], seuls ont été pris en compte les PPS clairement identifiés en tant que composés organiques de synthèse présentant une action pesticide (sont donc exclus les régulateurs de croissance, les phéromones, les substances inorganiques, les préparations naturelles, etc.)
² Le total comprend également des substances appartenant à d'autres catégories de pesticides telles que les rodenticides et les acaricides.

Tab. 2 Produits phytosanitaires homologués en 2015 et recherchés dans cette étude.
 Im Jahr 2015 zugelassene und in dieser Studie untersuchte Pflanzenschutzmittel.

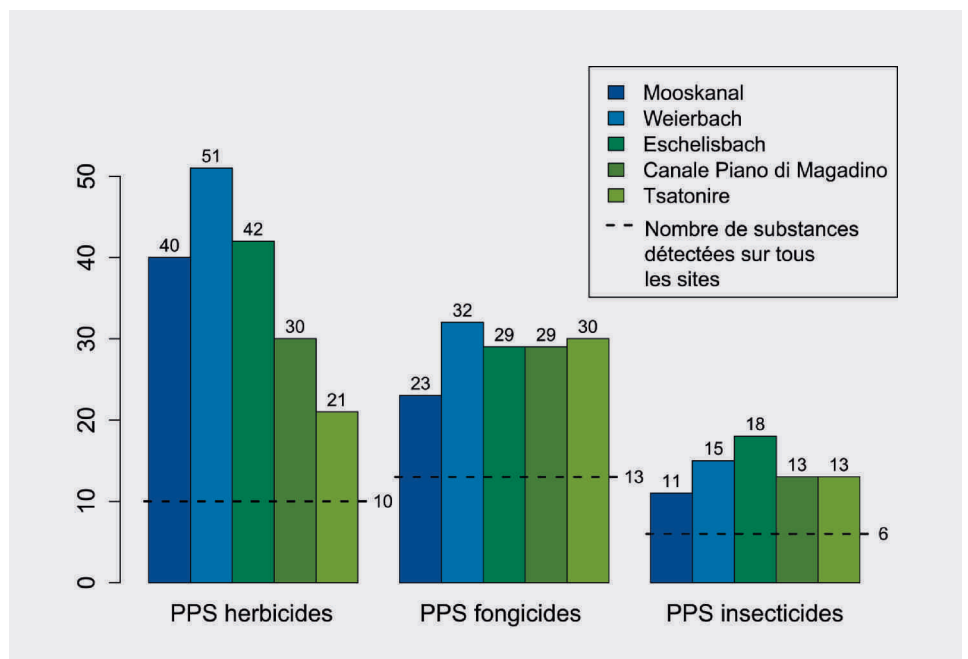


Fig. 2 Nombre de PPS détectés par site, subdivisés en herbicides, fongicides et insecticides. La ligne pointillée indique le nombre de substances détectées dans tous les bassins étudiés.
 Anzahl detektierte PSM pro Standort, aufgeteilt nach Herbiziden, Fungiziden und Insektiziden. Die gestrichelte Linie zeigt die Anzahl der Substanzen an, die in allen Gebieten gefunden wurden.

Orbitrap) après séparation en chromatographie liquide (LC). Les concentrations ont été déterminées grâce à des étalons de référence et à des étalons internes isotopiques [8]. Cette méthode permet d'atteindre des limites de quantification qui autorisent la vérification des critères de qualité chroniques (CQC, voir plus bas) pour plus de 94% des substances étudiées. La limite de quantification était ainsi toujours inférieure au CQC, ne le dépassant que pour 14 composés dont quatre légèrement.

APPRECIATION SELON LES EXIGENCES DE L'OEaux ET SELON LES CRITÈRES DE QUALITÉ
 L'annexe 2 de l'OEaux formule les exigences du droit fédéral pour la qualité

de l'eau dans les milieux aquatiques. Ainsi, cette qualité doit être telle que les substances aboutissant dans les eaux superficielles suite aux activités humaines n'entravent ni la reproduction, ni le développement, ni la santé des plantes, animaux et micro-organismes sensibles. Pour les pesticides organiques (PPS et biocides), l'ordonnance ne formule cependant actuellement qu'une exigence chiffrée unique de $0,1\mu\text{g/l}$ qui s'applique indifféremment à tous les composés et ne tient pas compte de leurs effets écotoxicologiques. Pour mieux correspondre aux exigences générales de l'OEaux, le seuil unique de $0,1\mu\text{g/l}$ doit bientôt être remplacé, pour une quarantaine de PPS, par des exigences de qualité écotoxicologique

chiffrées spécifiques à leur toxicité chronique et aiguë. Les travaux aboutissant à leur détermination sont en cours et le seuil de 0,1 µg/l reste valable jusqu'à ce que ces nouvelles valeurs soient disponibles [9].

Pour juger du danger que représentent les concentrations mesurées pour les organismes aquatiques, elles ont été comparées à des critères de qualité environnementale (CQE) déterminés sur des bases écotoxicologiques pour les expositions aiguës et chroniques. Pour ce faire, un

quotient de risque (QR) a été calculé pour chaque substance en faisant le rapport de la concentration mesurée et du critère de qualité environnementale (aigu ou chronique) qui lui est spécifique. Il est ainsi défini que des effets négatifs sur la vie aquatique ne peuvent être exclus s'il est supérieur à 1.

Des critères de qualité ont été déterminés par le Centre Ecotox pour les 40 substances devant être inscrites dans l'OEau selon la méthode prescrite pour l'application de la directive cadre sur l'eau de

l'UE [10]. Pour les composés pour lesquels aucun critère de qualité n'a encore été proposé par le Centre Ecotox, le quotient de risque a été calculé à partir du critère de qualité déterminé par d'autres pays selon la méthode de l'UE. En l'absence d'une telle valeur de référence, un seuil ad hoc a été déterminé à partir des données du dossier d'autorisation de mise sur le marché.

Les critères de qualité chroniques (CQC) ont été comparés aux concentrations moyennes pondérées dans le temps calculées sur 14 jours [5]. Les critères de qualité aigus (CQA) ont été directement comparés aux concentrations mesurées. Les méthodes et résultats écotoxicologiques font l'objet d'une discussion approfondie dans l'article de *Langer et al.* (p. 54 de ce numéro d'*Aqua & Gas*).

RÉSULTATS

UNE GRANDE VARIÉTÉ DE POLLUANTS DANS LES PETITS RUISSEAUX

Au total, 128 produits phytosanitaires ont été détectés dans au moins un échantillon: 61 herbicides (sur 101 recherchés), 45 fongicides (sur 68) et 22 insecticides (sur 40).

Le nombre de composés détectés était de 64 à 98 par site, celui d'herbicides variant particulièrement d'un ruisseau à l'autre (*fig. 2*). C'est dans la Tsatonire que la diversité de PPS détectés a été la plus faible (64 composés), le nombre d'herbicides y étant relativement bas (21 composés). Cette observation s'explique notamment par l'exploitation presque exclusivement viticole de son BV et donc par un éventail de produits phytosanitaires utilisés plus limité. 29 composés, soit 13 fongicides, 10 herbicides et 6 insecticides, ont été détectés au moins une fois sur la totalité des cinq sites. La majorité d'entre eux ont été régulièrement détectés dans tous les ruisseaux et se caractérisaient par une forte dynamique des concentrations. Cela semble indiquer qu'ils ont effectivement été appliqués pendant la période étudiée. En effet, les résidus d'applications effectuées les années précédentes se seraient manifestés par des concentrations beaucoup plus constantes.

Contrairement à ces PPS ubiquistes, certains composés n'étaient présents que sur un site particulier. Il s'agissait principalement d'herbicides dans le Weierbach et le Mooskanal et de fongicides sur les trois autres sites.

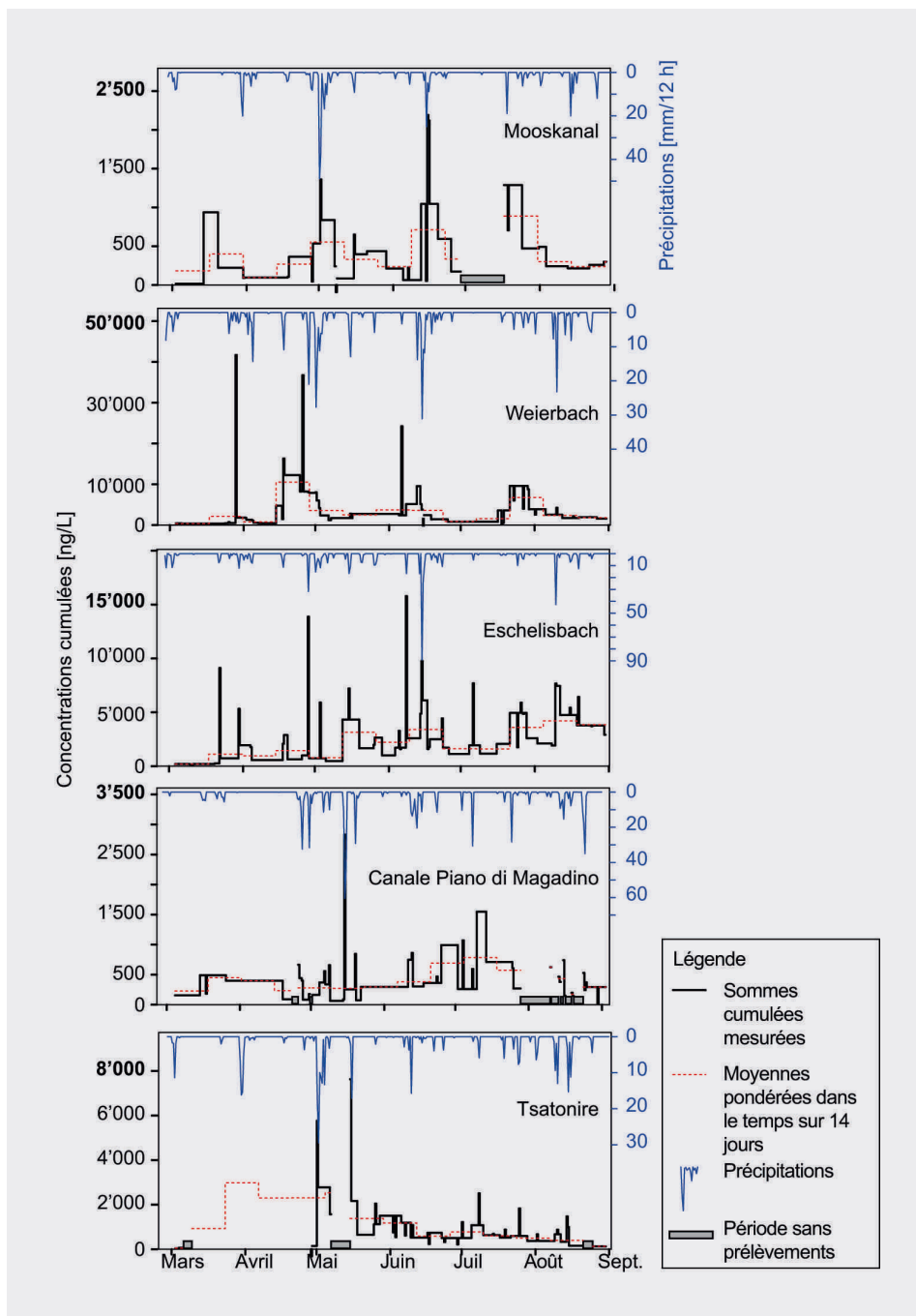


Fig. 3 Évolution dans le temps de la somme des concentrations de PPS mesurées (concentration cumulée) par échantillon dans les différents cours d'eau.

Summe aller PSM-Konzentrationen pro Probe an den verschiedenen Stationen im Zeitverlauf.

VOIES D'ÉMISSION EN CAUSE ET MESURES POTENTIELLES

Les PPS peuvent atteindre les cours d'eau de diverses manières. Il est avéré que les PPS appliqués peuvent être transportés par les pluies ([7, 14] par ex.), ce qui conduit généralement à une élévation des concentrations pendant les périodes de ruissellement. Ce phénomène a effectivement été observé à plusieurs reprises au cours de cette étude (fig. 3).

Des périodes ont cependant également été observées pendant lesquelles une augmentation des concentrations se produisait en l'absence de précipitations. Les pollutions constatées devaient alors être liées à d'autres voies de rejet. Pour identifier ces voies et mieux comprendre ces émissions, deux échantillons composites de longue durée prélevés par temps sec ont été soumis à une nouvelle analyse en considérant les échantillons d'une demi-journée séparément (Weierbach: 18–24 avril, 13 demi-journées; Eschelischbach: 16–21 juillet, 11 demi-journées).

Les analyses ainsi effectuées a posteriori (fig. 4) révèlent des évolutions très différentes dans le temps. Dans le Weierbach (fig. 4a), les concentrations de plusieurs substances actives ont augmenté subitement, le métolachlore présentant même un pic d'un facteur 100. En l'absence de pluies, une telle pollution est très probablement due à des erreurs de manipulation ou à des négligences. En revanche, les très fortes concentrations mesurées dans l'Eschelischbach (fig. 4b) ne variaient pas d'un facteur de plus de 4 pendant les 11 demi-journées et se maintenaient à un niveau élevé au cours des six dernières demi-journées après l'augmentation. Cette évolution des concentrations est plus difficile à interpréter. Elle pourrait être due à un arrosage sur surfaces drainées qui provoquerait des émissions régulières. La thèse d'une voie de rejet passant par le sol ou mettant en cause un séjour des composés dans les champs est étayée non seulement par cette dynamique, mais également par la forte proportion du métabolite R234886 de l'azoxystrobine – appelé *azoxystrobin acid* en anglais – par rapport à sa substance parente. Or, en cas d'erreurs de manipulation et de rejets directs dans les cours d'eau, le composé dominant est en général la substance parente.

Dans les cours d'eau étudiés, le déversement avec les pluies a joué un rôle significatif et les mesures de réduction des produits phytosanitaires doivent donc intervenir de façon ciblée à son niveau. Parallèlement, il s'est avéré que des rejets importants pouvaient également se produire par temps sec. Même s'il apparaît que des études plus approfondies sont encore nécessaires pour détermi-

ner les causes de pollution dans certains cas, il semble important d'intervenir pour limiter les émissions dues à de mauvaises pratiques.

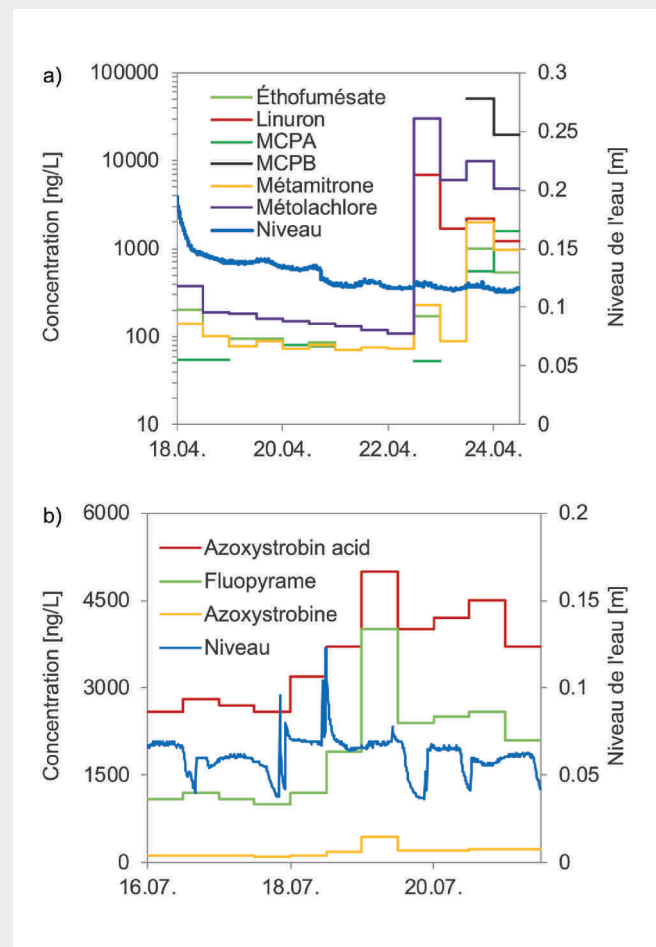


Fig. 4 Périodes d'augmentation des concentrations en l'absence de précipitations, étudiées à forte résolution temporelle (échantillons d'une demi-journée) a) dans le Weierbach (noter l'échelle logarithmique) et b) dans l'Eschelischbach

Zeitfenster mit Konzentrationsanstiegen trotz fehlender Niederschläge in zeitlich hoher Auflösung (Halbtagesmischproben): a) im Weierbach (zu beachten: logarithmische Skala) und b) im Eschelischbach

Une grande variabilité a été observée non seulement au niveau du nombre de composés par site, mais également en considérant le nombre de substances détectées par échantillon. Variant d'un minimum de 3 à un maximum de 65, ce dernier allait en moyenne (médiane) de 18 dans le Canale Piano di Magadino à 41 dans le Weierbach ce qui est comparable aux chiffres obtenus dans les cours d'eau moyens lors de la campagne 2012 de NAWA SPEZ [2]. Ce constat est légèrement surprenant dans la mesure où la moindre diversité des activités agricoles dans les bassins des petits cours d'eau laissait pré-

sager une moindre variété des composés dans ces milieux.

Des variations temporelles importantes étaient également observables sur tous les sites. Dans tous les cours d'eau, le nombre de polluants le plus faible était mesuré début mars. Dans la plupart des cas, le nombre maximal était de trois à quatre fois plus élevé que le minimum. Ce rapport était même de 15 dans le Mooskanal. Dans ce cours d'eau, le nombre de composés détecté en début de saison était en effet particulièrement faible. Dans l'Eschelischbach, le Canale Piano di Magadino et la Tsatonire, la diversité maximale

de composés a été observée en juin et en juillet alors que ce maximum était déjà atteint au mois de mai dans le Mooskanal et le Weierbach dont les bassins sont principalement dédiés aux cultures de plein champ.

Les concentrations mesurées livrent également des indications sur l'utilisation de substances actives ne bénéficiant plus d'autorisation. L'évolution des concentrations laisse supposer que quatre des dix composés désormais pros crits qui ont été détectés (l'atrazine, le carbofurane, le diazinon et le propachlore) ont été appliqués durant l'année de l'étude.

	Canale Piano di Magadino	Eschelischbach	Mooskanal	Tsatonire	Weierbach
Composés détectés	72	89	74	64	98
Nombre médian des composés détectés par échantillon	18	35	22	22	41
Concentration cumulée médiane par échantillon [ng/l]	380	2500	280	740	2550
Durée moyenne de dépassement individuel du seuil de 0,1 µg/l [Jours (pourcentage de la période d'étude)]	86 (55%)	178 (99%)	63 (39%)	110 (67%)	179 (99%)
Durée de dépassement d'un ou de plusieurs CQC [Jours (pourcentage de la période d'étude)]	14 (10%)	168 (92%)	70 (43%)	140 (86%)	168 (92%)
Durée de dépassement de 10*CQC [Jours (pourcentage de la période d'étude)]	0 (0%)	28 (16%)	14 (9%)	56 (34%)	56 (31%)
Composés avec dépassement du CQC	1	12	5	6	19
Durée de dépassement d'un ou de plusieurs CQA [Jours (pourcentage de la période d'étude)]	0 (0%)	41 (22%)	9,5 (6%)	68 (41%)	43 (24%)
Composés avec dépassement du CQA	0	8	1	5	14

Tab. 3 Différences entre les sites au niveau de la pollution chimique et du risque écotoxicologique.

Unterschiede in der stofflichen und ökotoxikologischen Belastung an den verschiedenen Standorten.

DE FORTS PICS DE POLLUTION

Les concentrations maximales mesurées pour une substance donnée dans un échantillon donné variaient entre 5,2 et 40 000 ng/l (40 µg/l). Dans la moitié des échantillons, au moins une substance atteignait une concentration maximale de plus de 340 ng/l. Les fortes concentrations ont surtout été mesurées pendant les pluies mais des cas ont également été observés où les teneurs élevées en PPS se maintenaient pendant les périodes de temps sec (*voir l'encart*).

La somme des concentrations de tous les PPS détectés dans un échantillon variait de 18 à 41 000 ng/l (*fig. 3*). Elle excédait 1000 ng/l (1 µg/l) dans plus de la moitié des échantillons. Sur tous les sites, excepté celui du Mooskanal, la concentration cumulée déterminée dans les échantillons composites d'une demi-journée collectés pendant les pluies (médiane de 680 à 4870 ng/l selon les sites) était près de deux fois plus élevée que celle relevée dans les échantillons moyennés sur une plus longue période et qui illustrent donc surtout les périodes de temps sec (médiane de 330 à 2600 ng/l selon les sites).

La somme des concentrations mesurées dans un échantillon donné est souvent dominée par un petit nombre de substances. L'identité des composés présents à de fortes concentrations variait cependant d'un échantillon à l'autre. Ainsi, le profil de substances des échantillons variait fortement aussi bien dans le temps que dans l'espace (d'un site à l'autre). Dans la moitié des échantillons, plus des deux tiers de la concentration cumulée était imputable aux trois polluants les plus

abondants. Sur l'ensemble des cinq sites, 67 composés figuraient parmi ces trois substances dominantes. À l'échelle du site, de 21 à 27 substances étaient dans ce cas.

De fortes différences ont été observées entre les sites aussi bien au niveau des valeurs des concentrations que de leur évolution saisonnière. Début mars, les concentrations cumulées en produits phytosanitaires étaient encore relativement faibles dans les cinq cours d'eau. Dès la deuxième quinzaine de mars, tous présentaient cependant déjà des concentrations cumulées de plus de 500 ng/l (0,5 µg/l). Ensuite, l'évolution des concentrations a été marquée par de fortes variations et par des pics soudains sur tous les sites. Une grande disparité est cependant observable entre les cours d'eau aussi bien au niveau des concentrations de fond et de pointe que de l'évolution des teneurs au cours de la saison (on remarquera les différences d'échelles employées dans la *figure 3*). Dans la Tsatonire, un pic de concentration net et prolongé est observable au printemps (principalement causé par des herbicides) tandis que les teneurs baissent globalement au cours de l'été. Dans les autres cours d'eau, aucun caractère saisonnier n'est clairement identifiable, des pics de concentrations survenant régulièrement aussi bien au printemps qu'en été. Fin août, la concentration cumulée était encore plus élevée que début mars dans tous les bassins, excepté celui de la Tsatonire. Dans le Weierbach et l'Eschelischbach, en particulier, la pollution était encore forte au mois d'août, la concentration de fond augmentant même tout au long de l'été

dans ce dernier cours d'eau. Là, l'augmentation progressive des teneurs était principalement due aux fongicides. Cette observation prouve que le choix opéré dans de précédentes études de limiter la période d'échantillonnage aux principales périodes d'application du printemps et du début de l'été a abouti à la non prise en compte d'une période encore marquée par de fortes concentrations. Il serait donc intéressant de savoir combien de temps la pollution se maintient en automne. Malheureusement, nos données ne fournissent pas d'informations à ce sujet puisque les prélèvements ont cessé en septembre.

NON-RESPECT DE L'OEaux

Le seuil de 0,1 µg/l actuellement en vigueur a été dépassé pour au moins une substance dans un peu moins de 80% des échantillons analysés (193 sur 249). Dans près d'un quart d'entre eux, un tel dépassement était même observé pour cinq substances ou plus – 19 dans un cas extrême. Au total, 753 dépassements du seuil de 0,1 µg/l ont été constatés pour 72 produits phytosanitaires.

L'exigence de qualité de l'eau chiffrée de l'OEaux n'a ainsi été respectée dans aucun des cours d'eau étudiés. Sur tous les sites, ce seuil a été dépassé pour au moins une substance pendant plus d'un tiers de la période d'échantillonnage (63 jours). Dans quatre des cinq bassins étudiés, des dépassements ont même été constatés pendant plus de la moitié de cette période et dans l'Eschelischbach, la concentration d'au moins un composé excédait 0,1 µg/l pendant presque toute la durée de l'étude (*tab. 3*).

Dénomination	Appli- cations homolo- guées ¹	Mode d'action	QR aigu maxi	Durée de dé- passement du CQA (jours)	QR chro- nique maxi	Durée de dé- passement du CQC (jours)	Nombre de sites avec dé- passements du CQA ou du CQC	Fréquence de détection %	Concen- tration maximale mesurée (ng/l)
a) Substances pour lesquelles un dépassement du critère de qualité aigu ou chronique a été constaté au moins une fois									
Métazachlore	P S	Herbicide	4,3	8	35,2	168	3	43	1200
Azoxystrobine	P S	Fongicide	5,5	29	4,1	140	2	87	3000
Thiaclopride	P B S	Insecticide	10,8	20	24,7	126	3	29	860
Chlorpyrifos	P B X S	Insecticide	2,4	11	23,8	112	4	5	39
Diuron	P B S	Herbicide	12	60	18,2	99	2	45	3000
Nicosulfuron	P S	Herbicide	2,1	4	5,8	98	3	26	180
Diflufénican	P	Herbicide	10,7	8	6,9	70	1	14	480
Fipronil	P* B MV	Insecticide	1,7	7	14,7	70	2	5	24
Méthiocarbe	P	Insecticide	1,1	0,5	10,1	70	2	8	170
Terbutylazine	P B X S	Herbicide	2,7	6,5	4,5	70	1	77	3400
Diméthoate	P S	Insecticide	1,6	1	4,5	56	2	40	1600
Linuron	P S	Herbicide	2	1	2,9	56	2	71	2800
MCPA	P S	Herbicide	1,1	2,5	2	56	1	43	1600
Chlorpyrifos-méthyl	P B X S	Insecticide	70	4,5	48,8	42	1	2	210
Fénoxycarbe	P B	Insecticide	1	0	3	42	2	2	25
Diazinon	P X B X S	Insecticide	24,6	16	5,3	28	1	24	590
Diméthénamide	P	Herbicide	0,2	0	1,5	28	1	30	280
MCPB	P	Herbicide		0	7,1	28	1	9	20 000
Méthomyl	P B X	Insecticide	2	1	3,6	28	1	16	6000
Métolachlore	P S	Herbicide	1,5	9,5	3,8	28	1	67	5000
Rimsulfuron	P	Herbicide	0	0	2,1	28	1	1	26
Spiroxamine	P	Fongicide	11,5	8,5	2,3	28	1	9	600
Thiaméthoxam	P B S	Insecticide	0,7	0	2,9	28	1	29	1000
Carbendazime	P B S	Fongicide	0,9	0	1	14	1	74	500
Diflubenzuron	P B MV	Insecticide	0,2	0	2,9	14	1	2	38
Isoproturon	P B S	Herbicide	16,7	0,5	2,5	14	1	27	40 000
Mésosulfuron-méthyle	P	Herbicide	10	1,5	1,3	14	1	9	360
Mésotrione	P	Herbicide	0,5	0	1,3	14	1	12	400
Propachlore	P X	Herbicide	0,3	0	2,9	14	1	4	130
Aclonifène	P	Herbicide	12,5	0,5	0,5	0	1	2	1500
Epoxiconazole	P S	Fongicide	1	1	0,3	0	1	43	250
Iodosulfuron-méthyle	P	Herbicide	1,3	0,5	0,2	0	1	3	110
b) Substances pour lesquelles aucune dépassement du CQA ou du CQC n'a été constaté, mais qui figurent au Top 10 des plus fortes concentrations									
Napropamide	P S	Herbicide	0,7	0	0,2	0	0	41	4900
Éthofumésate	P S	Herbicide	0,2	0	0,2	0	0	27	4400
MCPP (Mécoprop)	P B ² S	Herbicide	0	0	0,7	0	0	63	4000
Fluopyrame	P	Fongicide	0,2	0	0,2	0	0	60	6000
Métamitron	P	Herbicide	0,25	0	0,6	0	0	46	10 000
Propyzamide	P	Herbicide	0,1	0	0,3	0	0	35	8000

¹ P=PPS selon l'OPPh [11] (P*=n'étant autorisé dans aucun produit), B=produit biocide selon l'OPBio [12], X=produit n'étant plus autorisé en tant que tel à l'heure actuelle, MV=homologué en tant que médicament vétérinaire (Swissmedic), S=Substance représentative de la Suisse selon le système d'évaluation

² Le mécoprop est également utilisé dans les revêtements bituminés pour empêcher la pénétration des racines, mais il n'est pas officiellement considéré comme un biocide.

Tab. 4 a) Liste des substances pour lesquelles un dépassement du critère de qualité écotoxicologique aigu (CQA) ou chronique (CQC) a été constaté au moins une fois, classées par ordre décroissant de la durée du dépassement du CQC. b) Composés présentant les 10 concentrations les plus élevées. Les composés du top 10 de chaque catégorie sont indiqués en rouge.

a) Liste aller Substanzen, die mindestens einmal ein chronisches oder akutes ökotoxikologisches Qualitätskriterium (CQC/CQA) überschritten haben, sortiert nach der Zeitdauer der chronischen Überschreitungen. b) Stoffe mit den 10 höchsten Konzentrationen. Die Top 10 der jeweiligen Kategorien sind rot markiert.

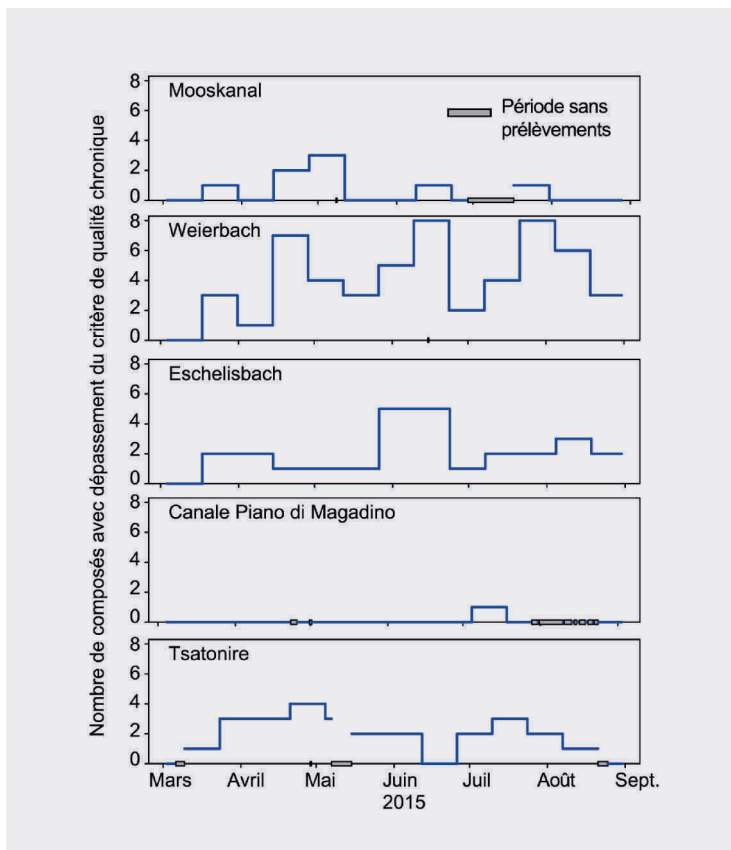


Fig. 5 Nombre de substances dont la concentration moyenne sur 14 jours s'est située au-dessus du CQC.

Anzahl Stoffe, deren über 14 Tage gemittelte Konzentration über dem CQK lag.

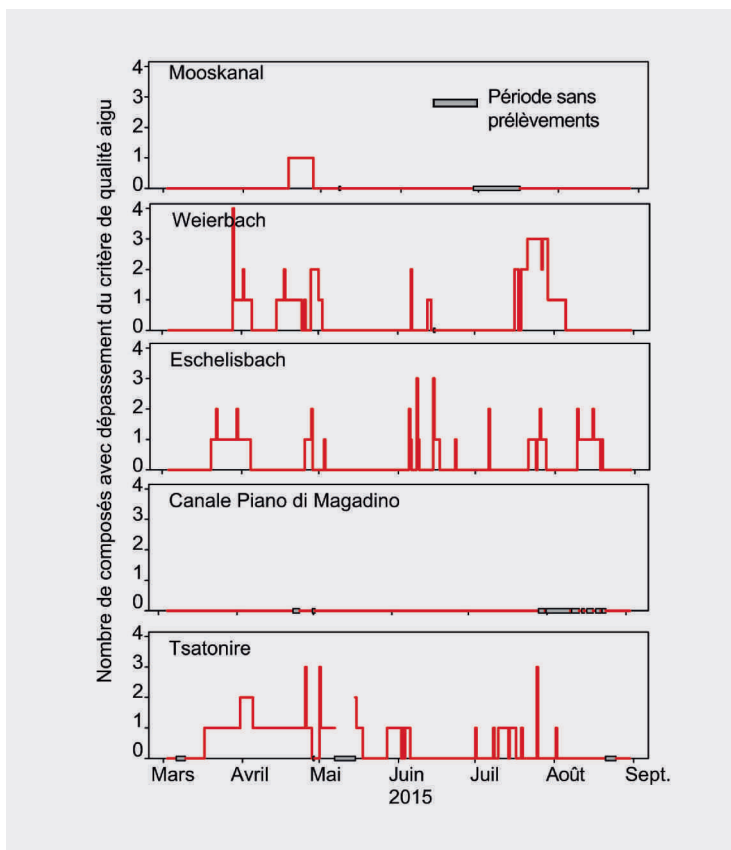


Fig. 6 Évolution du nombre de substances dont les concentrations excèdent le CQA. Zeitverlauf der Anzahl Stoffe, deren Konzentrationen über dem AQK lagen.

NON-RESPECT PROLONGÉ DES CRITÈRES DE QUALITÉ

Dans l'ensemble, un dépassement des valeurs fixées pour les critères de qualité aigus ou chroniques (CQA, CQC) a été observé pour 32 PPS. Ce dépassement concernait les deux critères de qualité environnementale dans près des deux tiers des cas, uniquement le CQC pour neuf d'entre eux et uniquement le CQA pour trois d'entre eux (tab. 4). Les dépassements les plus nombreux ont été constatés avec des herbicides (17 composés), suivis des insecticides (11) et des fongicides (4).

Sur tous les sites, un non-respect du CQC a été constaté pour au moins un PPS pendant presque toute la période d'échantillonnage (fig. 5). La durée de dépassement et le nombre de substances concernées variaient cependant très fortement d'un cours d'eau à l'autre (tab. 3, fig. 5). Ainsi, la durée de dépassement la plus courte a été observée dans le Canale Piano di Magadino où le CQC n'a été dépassé que pour un seul composé pendant 14 jours. Les dépassements les plus longs ont été mesurés dans le Weierbach où la concentration d'au moins un composé excédait la valeur du CQC pendant 5,5 mois (fig. 5). Dans trois des cinq ruisseaux (Weierbach, Eschelisbach, Tsatonire), des dépassements ont été observés pendant plus de 4,5 mois. Lors de la situation la plus critique, le CQC était dépassé simultanément pour huit composés dans le même échantillon.

L'identité des composés responsables des dépassements variait selon les stations de mesure. Ainsi, 19 des 32 PPS n'engendraient de dépassements que dans un seul cours d'eau; en revanche, ils en provoquaient alors généralement plusieurs (tab. 4). Aucune des substances étudiées ne s'est caractérisée par un dépassement de son critère de qualité dans plus de trois cours d'eau. Le CQC était dépassé sur trois sites pour le chlorpyrifos, le métazachlore, le nicosulfuron et le thiaclopride. Ces quatre composés étaient responsables de plus de 30% des 113 dépassements du CQC observés au total.

L'examen des concentrations à l'aune des critères de qualité aigus indique une forte pollution dans trois des cinq cours d'eau. Au total, des dépassements de ces critères ont été observés pour 23 substances sur quatre sites sur cinq (fig. 6, tab. 4). Dans l'Eschelisbach, les principaux responsables de ces dépassements étaient des insecticides alors qu'il s'agissait majoritairement d'herbicides dans la Tsatonire et de PPS divers dans le Weierbach.

La durée de dépassement des CQA était parfois longue. La concentration de diuron se situait ainsi au-dessus de cette valeur écotoxicologique au cours de 60 jours (avec interruptions) dans la Tsatonire et celles d'azoxystrobine pendant respectivement 12 et 16 jours dans l'Eschelisbach et le Weierbach (tab. 4). Dans le Weierbach, les dépassements du CQA pouvaient concerner jusqu'à quatre substances dans un même échantillon; mais la Tsatonire et l'Eschelisbach ont également livré des échantillons dans lesquels le CQA était dépassé pour trois composés à la fois (fig. 6). Par ailleurs, neuf substances présentaient des concentrations au moins dix fois supérieures à leur CQA (tab. 4).

Ces comparaisons entre les concentrations mesurées et les critères de qualité écotoxicologique montrent qu'il n'est pas exclu que les produits phytosanitaires présents dans l'eau aient des effets négatifs sur la vie aquatique et ce pendant des périodes parfois très longues. Il est ainsi probable que, dans les cours d'eau étudiés, les PPS perturbent la reproduction, le développement et la santé des végétaux, des animaux et des micro-organismes sensibles pendant une durée considérable. Une analyse

plus approfondie de la situation écotoxicologique est présentée dans l'article de *Langer et al. (p. XX)*.

Si l'analyse se limite aux 41 substances actives de produits phytosanitaires proposées dans le système d'évaluation portant sur les émissions diffuses [5], et pour lesquelles des exigences chiffrées spécifiques déterminées sur des critères majoritairement écotoxicologiques devraient bientôt figurer dans l'annexe 2 de l'OEaux, elle prend en compte 72% des dépassements du CQC et 87% des dépassements du CQA.

Sur les 32 composés pour lesquels des dépassements des critères de qualité ont été constatés, sept étaient homologués en tant que biocides en 2015 (*tab. 4*). Dans leur cas, des émissions provenant de l'utilisation des biocides en milieu urbain ne peuvent être totalement exclues. En raison de l'évolution de leurs concentrations, il semble cependant très probable que, à l'exception du fipronil, leurs rejets soient d'origine agricole (saisonnalité prononcée). De même, il n'est pas exclu que, en raison de la présence de zones urbanisées dans la plupart des bassins versants, une part des rejets de PPS soit due à leur utilisation dans les espaces verts urbains. Il s'avère toutefois que la pollution la moins forte a été mesurée dans le bassin comportant la plus forte proportion de zones urbaines (Canale Piano di Magadino) et qu'une pollution élevée a été relevée dans l'Eschelisbach dont le bassin en est exempt. Il semble donc justifié de considérer que l'utilisation des PPS dans les espaces verts ne contribue pas de façon notable à la pollution générale de l'eau dans les bassins étudiés.

DISCUSSION

LE RISQUE RESTE SOUS-ESTIMÉ

Malgré la grande diversité de composés étudiés et la haute résolution temporelle de l'échantillonnage, la présente analyse de la pollution des petits cours d'eau par les produits phytosanitaires présente un certain nombre de lacunes. Certains insecticides hautement toxiques tels que les pyréthrinoides ne sont pas quantifiables avec les méthodes utilisées. Or il a déjà été démontré que le risque global déterminé pour les organismes aquatiques est beaucoup plus élevé lorsque ces substances sont également prises en compte [13]. De même, le glyphosate, souvent détecté à de fortes concentrations, devrait être étudié avec des techniques plus spécifiques. D'un autre côté, cette substance ne joue pas de rôle majeur pour l'appréciation écotoxicologique.

Plusieurs autres éléments laissent penser que le risque réel pour les organismes aquatiques est certainement plus élevé que celui calculé dans notre étude. Tout d'abord, les pics de concentration sont gommés dans les échantillons moyennés sur plusieurs jours obtenus par temps sec. D'autre part, les concentrations de composés rapidement dégradables peuvent baisser entre leur rejet dans le milieu aquatique et le moment de l'échantillonnage. Ensuite, le fait que nous ne disposions de données que jusqu'à la fin du mois d'août peut également avoir contribué à une sous-estimation du risque. En effet, les concentrations cumulées n'avaient pas toujours commencé à baisser à ce moment-là (comme dans l'Eschelisbach; *fig. 3*), ce qui semble indiquer que la période d'exposition se prolonge au-delà de cette date. Enfin, deux contingences techniques ont une influence sur l'appréciation du degré de pollution. Tout d'abord, le risque dû aux composés facilement adsorbés à la surface des particules solides est sous-estimé puisque seule la part dissoute des échantillons est analysée. Ensuite, la limite de quantification de

certaines substances était de l'ordre de grandeur du CQC, voire plus élevée, de sorte qu'une partie de la contamination n'a pu être appréhendée.

DIFFÉRENCES ENTRE SITES ET SIGNIFICATION DES RÉSULTATS POUR LA SUISSE

Différents aspects doivent être considérés si l'on souhaite débattre des leçons à tirer de notre étude pour l'évaluation de l'état de pollution des cours d'eau suisses par les produits phytosanitaires. Tout d'abord, de grandes différences ont été observées entre les ruisseaux étudiés, que ce soit au niveau de la pollution chimique ou du risque écotoxicologique. Un risque très élevé a ainsi été mis en évidence dans l'Eschelisbach, la Tsatonire et le Weierbach. Sur ces trois sites, des dépassements du CQA ont été observés pendant un mois et demi à plus de deux mois (*tab. 3*). En revanche, seul un dépassement du critère de qualité aigu a été mesuré dans le Mooskanal et aucun dans le Canale Piano di Magadino. De même, les concentrations cumulées déterminées sur ces deux sites sont plus faibles que sur les trois autres. Les disparités constatées laissent augurer d'une variabilité comparable entre les autres petits bassins versants de Suisse.

Les différences de pollution ne s'expliquent pas uniquement par l'intensité et la nature de l'utilisation du sol dans le bassin versant. Sur les cinq bassins étudiés, celui du Mooskanal présente ainsi la part la plus importante de terres arables (65%) et abrite des cultures maraîchères, fortes consommatrices de PPS. Pourtant, la pollution de ses eaux est beaucoup plus faible que celle du Weierbach dont le bassin ne comporte que 52% de terres arables. Il est intéressant de constater que les deux ruisseaux les moins pollués (le Canale di Magadino et le Mooskanal) s'écoulent tous deux en plaine. La topographie du bassin versant, c'est-à-dire la déclivité des champs et donc la part de terres potentiellement connectées avec le cours d'eau, pourrait donc jouer un rôle déterminant. Le fait que les concentrations mesurées dans le Canale Piano di Magadino aient été beaucoup plus faibles que dans les autres ruisseaux semble cependant davantage s'expliquer par le caractère moins intensif de l'utilisation du sol dans son bassin (*tab. 1*).

Dans l'ensemble, les niveaux de pollution mis en évidence suggèrent qu'une grande partie du réseau hydrographique suisse pourrait être excessivement contaminée par les produits phytosanitaires. Si, par une vue de l'esprit, on plaçait par exemple le bassin du Weierbach dans un bassin dix fois plus grand sans

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient vivement toutes les personnes qui leur ont porté assistance au sein des laboratoires et services cantonaux de la protection des eaux et en particulier *Katrin Guthruf, Markus Zeh, Daniel Scheidegger* (Berne), *Heinz Ehmann* et *Margie D. Koster* (Thurgovie), *Marin Huser, Nadine Konz, Thomas Amiet* (Bâle-Campagne), *Marc Bernard, Lise Boulicault, Gani Bilalowski* (Valais), *Mauro Veronesi* et *Nicola Solcà* ainsi que leurs collaborateurs (Tessin). Un grand merci également à *Philipp Longrée* et *Birgit Beck* pour leur aide précieuse au laboratoire. Nous souhaitons par ailleurs remercier *Reto Mural, Christian Leu, Miriam Langer, Rik Eggen* et *Juliane Hollender* pour leurs commentaires avisés. Merci à *Laurence Frauenlob* (Waldkirch/D) qui a traduit cet article en français.

que les émissions de PPS ne s'en trouvent augmentées, on obtiendrait une dilution d'un facteur dix à condition que les écoulements se produisent de manière similaire dans les surface supplémentaires. Malgré cette dilution, les CQC seraient encore dépassés d'un facteur 2 pendant plus de 56 jours (tab. 3). La moitié inférieure du réseau hydrographique suisse (<1080 m au-dessus du niveau de la mer) est alimenté sur 40% de sa longueur par des bassins versants ayant une part de terres arables supérieure à la part la plus faible de ce modèle. Ce jeu de l'esprit montre que nos résultats sont certainement transposables à une part significative des cours d'eau suisses et que les petits bassins versants fortement émetteurs sont en mesure de polluer de longs secteurs du réseau hydrographique.

CONCLUSIONS

Les résultats montrent que les ruisseaux drainant de petits bassins versants agricoles peuvent être fortement pollués par les PPS. Les concentrations mesurées pour les 128 substances actives détectées atteignent des valeurs parfois très élevées, de plusieurs microgrammes par litre, et se maintiennent à un fort niveau pendant des semaines dans certains cours d'eau. Ni l'exigence de qualité de 0,1 µg/l actuellement en vigueur ni les critères de qualité déterminés sur des bases écotoxicologiques qui devraient bientôt être ancrés dans l'OEaux ne sont respectés et ce, sur une durée pouvant atteindre 90% de la période d'étude.

Les fortes concentrations de PPS qui ont été observées étaient le fait d'une grande diversité de substances. Les petits tronçons étudiés dans les cinq bassins versants ont été suffisants pour détecter près de la moitié des PPS organiques de synthèse actuellement autorisés. Parmi eux, de nombreux composés atteignent des concentrations critiques. L'observation de l'évolution des teneurs dans le temps souligne l'importance des pluies dans les émissions, mais révèle aussi que des rejets importants peuvent également se produire par temps sec.

Étant donné que les petits cours d'eau représentent 75% du réseau hydrographique suisse et que les activités agricoles consommatrices de PPS sont très présentes dans de nombreux bassins versants, la portée des résultats de cette étude dépasse largement le cadre des

cinq ruisseaux étudiés. Les émissions de PPS dans les petits cours d'eau peuvent ainsi conduire à des dépassements des critères de qualité environnementale et *in fine* altérer la qualité de l'eau dans les cours d'eau moyens. Les résultats soulignent donc toute l'attention dont doivent bénéficier les petits cours d'eau pour l'atteinte des objectifs généraux de qualité de l'eau.

Les résultats indiquent une perturbation probable des organismes aquatiques sensibles dans au moins trois des bassins étudiés. D'autre part, des atteintes dues aux PPS ne peuvent être exclues dans une grande partie de nos cours d'eau. Une analyse écotoxicologique de la situation est proposée dans un article spécifique (Langer et al., p. 54). Il ressort de nos observations qu'il est indispensable de mettre en œuvre une gamme importante de mesures pour réduire les émissions de PPS dans les milieux aquatiques.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Gälli, R. et al. (2015): *Micropolluants dans les cours d'eau provenant d'apports diffus. Analyse de la situation. Etat de l'environnement*. Berne, OFEV
- [2] Wittmer, I. et al. (2014): *Plus de 100 pesticides dans les cours d'eau - Une forte pollution des cours d'eau suisses révélée par le programme NAWA SPE*. Aqua & Gas 11/2014: 68-79
- [3] Munz, N.; Leu, C.; Wittmer, I. (2012): *Pesticides dans les cours d'eau suisses - Aperçu de la situation à l'échelle nationale*. Aqua & Gas 7/8_2013: 78-87
- [4] Kunz, M. et al. (2016): *Etat des cours d'eau suisses - Résultats de l'Observation nationale de la qualité des eaux de surface (NAWA) 2011-2014. Etat de l'environnement*. OFEV, Berne
- [5] Wittmer, I. et al. (2014): *Micropolluants - Stratégie d'évaluation pour les micropolluants de sources non ponctuelles. Étude mandatée par l'OFEV*. Dübendorf, Eawag
- [6] Strahm, I. et al. (2013): *Landnutzung entlang des Schweizer Gewässernetzes*. Aqua & Gas 5/2013: 36-44
- [7] Leu, C. et al. (2004): *Simultaneous assessment of sources, processes, and factors influencing herbicide losses to surface waters in a small agricultural catchment*. Environmental Science & Technology 38: 3827-3834
- [8] Huntscha, S. et al. (2012): *Multiresidue analysis of 88 polar organic micropollutants in ground, surface and wastewater using online mixed-bed multilayer solid-phase extraction coupled to high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry*. Journal of Chromatography A 1268: 74-83
- [9] RS-814.201 (2016): *Ordonnance sur la protection des eaux*, Suisse. N° 814.201
- [10] European Commission (2011): *Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive. Technical Guidance for Deriving Environmental Quality Standards*.
- [11] RS-916.20 (2010): *Ordonnance sur la mise en circulation des produits phytosanitaires (Ordonnance sur les produits phytosanitaires, OPPh)*. Suisse. N° 916.161
- [12] RS-813.12 (2005): *Ordonnance concernant la mise sur le marché et l'utilisation des produits biocides (Ordonnance sur les produits biocides OPBio)*, Suisse. N° 813.12
- [13] Moschet, C. et al. (2014): *Picogram per liter detections of pyrethroids and organophosphates in surface waters using passive sampling*. Water Research 66: 411-422
- [14] Doppler, T. et al. (2014): *Critical source areas for herbicides can change location depending on rain events*. Agriculture, Ecosystems & Environment 192: 85-94

> FORTSETZUNG DER ZUSAMMENFASSUNG

trationssumme aller PSM über 1000 ng/l. 32 verschiedene PSM überschritten chronische und/oder akute ökotoxikologische Qualitätskriterien (CQK, AQK). Ökotoxikologische Qualitätskriterien wurden in drei der untersuchten Gebiete sogar während ungefähr 90% der Untersuchungsperiode von 6 Monaten überschritten. Aufgrund der Resultate ist in mindestens drei der untersuchten Gebiete von einer Beeinträchtigung der empfindlichen Gewässerorganismen auszugehen. Da kleine Fliessgewässer 75% unseres Fliessgewässernetzes ausmachen und PSM-intensive Landwirtschaft in vielen EZG eine grosse Bedeutung hat, sind die Befunde weit über die fünf Untersuchungsgebiete hinaus relevant. Eine Abschätzung basierend auf dem Vergleich der Landnutzung in den untersuchten Gebieten mit der gesamten Schweiz zeigt, dass in einem grossen Teil unserer Fliessgewässer eine Beeinträchtigung durch PSM nicht ausgeschlossen werden kann.

Es wurden grosse Unterschiede zwischen den Gebieten beobachtet sowohl im Ausmass der Belastung als auch in der Stoffpalette. Auch die Eintragsmuster variierten - sowohl regengetriebene Einträge wie auch Einträge in Trockenperioden (siehe auch Box) wurden beobachtet. Diese Resultate zeigen, dass eine breit angelegte Palette an Massnahmen zur Verminderung der PSM-Einträge benötigt wird.