



CAUSES DE LA POLLUTION PAR LES PESTICIDES

ÉVALUATION DES POSSIBLES SOURCES ET VOIES DE REJET DANS LES COURS D'EAU

En se basant sur les données de surveillance des pesticides et les informations sur les volumes de vente des produits phytosanitaires, des biocides et des médicaments vétérinaires collectés pour toute la Suisse, cet article montre quelles sont les applications et les voies de rejet les plus significatives pour les cours d'eau pour les neuf pesticides présentant le plus grand nombre de dépassements des critères de qualité écotoxicologiques.

Sofia Barth; Tobias Doppler, Plateforme VSA «Qualité des eaux»

RÉSUMÉ

URSACHEN DER PESTIZIDVERUNREINIGUNG: MÖGLICHE QUELLEN UND EINTRAGSWEGE IN FLIESSGEWÄSSER EINGRENZEN

Einzelne Pestizide werden als Pflanzenschutzmittel (PSM), Biozid und/oder Tierarzneimitteln (TAM) eingesetzt und können über verschiedene Eintragswege (z. B. Abwasserreinigungsanlagen (ARA), Abschwemmung vom Feld, PSM-Waschplätze, usw.) in Fließgewässer gelangen. Anhand von verfügbaren und teilweise unvollständigen Angaben zu Verkaufsmengen für PSM, Biozide und TAM sowie Messdaten aus der nationalen Beobachtung Oberflächengewässerqualität für Mikroverunreinigungen wurde für die neun Pestizide mit den meisten Überschreitungen ihrer ökotoxikologischen Qualitätskriterien untersucht, welche Anwendungen und Eintragswege am relevantesten sind für die Gewässerbelastung. Die fünf ausschliesslich in der Landwirtschaft eingesetzten Herbizide gelangen vor allem mit dem Regen in die Gewässer, während Einträge über die ARA insgesamt eine untergeordnete Rolle spielen. Auch die vier Pyrethroid-Insektizide, die für viele verschiedene Anwendungen zugelassen sind, scheinen hauptsächlich mit dem Regen und sowohl über die ARA als auch über andere Wege in die Gewässer zu gelangen. Bei lambda-Cyhalothrin ist die Anwendung als PSM die Hauptursache der Gewässerverunreinigung, während bei Permethrin regenexponierte Anwendungen als Biozid (z. B. Pour-on-Produkte bei Nutztieren, mit der Gülle ausgebrachte Schädlingsbekämpfungsmittel für den Stall oder Holzschutzmittel) im Vordergrund stehen. Bei Cypermethrin und Deltamethrin kommen

INTRODUCTION

Beaucoup de cours d'eau suisses sont pollués par des pesticides toxiques pour les organismes aquatiques. Le terme «pesticides» englobe un large éventail de substances actives employées dans diverses applications destinées à la protection des plantes (produits phytosanitaires, PPh), ou des humains et matériaux (produits biocides). Certains pesticides à action insecticide entrent également dans la composition de médicaments à usage vétérinaire (MédV) ou à usage humain. Les insecticides contenus dans ces médicaments ne sont pas considérés comme des pesticides au sens de la loi (Ordonnance sur la protection des eaux, annexe 2, ch. 11, al. 3). Dans cet article, ils seront toutefois inclus dans le terme «pesticides». Alors que certains pesticides ne sont autorisés que pour des usages très restreints (uniquement en tant que PPh pour la lutte contre les adventices dans l'agriculture, p. ex.), d'autres (principalement des insecticides) ont des emplois multiples, en tant que PPh, que biocide et/ou que MédV. Pour réduire la pollution des eaux par ces pesticides, il est indispensable de connaître les applications causant leur émission (sources) et la manière dont ils rejoignent le milieu aquatique (voies de rejet). Bien que les sources et voies de rejet des pesticides aient déjà fait l'objet de nombreuses études, en particulier dans le domaine agricole, et que de nombreuses connaissances aient déjà été acquises [1-7], des lacunes persistent.

Contact: S. Barth, sofia.barth@vsa.ch

C'est pour les pesticides autorisés dans plusieurs catégories (PPh, biocide, MédV) qu'il est le plus difficile de déterminer les causes et voies de rejet. Mais même au sein d'une catégorie, les utilisations et voies de contamination peuvent être multiples. Ainsi, les PPh peuvent être autorisés pour différents usages agricoles (grandes cultures et maraîchage, p.ex.) pendant que certaines substances actives sont également employées en horticulture et paysagisme ou en sylviculture. Suivant les substances, les biocides et les MédV

peuvent, eux aussi, être appliqués aussi bien en milieu urbain (traitement du bois, élimination des nuisibles dans les bâtiments, traitement des animaux domestiques contre les tiques et les puces, etc.) qu'en milieu agricole (lutte antiparasitaire dans les locaux d'élevage, traitement sur tout le corps (*pour-on*) des animaux de rente, etc.).

On distingue par ailleurs en général plusieurs voies de rejet possibles pour une même application (*fig. 1*). On sait par exemple que les PPh utilisés dans le domaine agricole peuvent atteindre le milieu aquatique par voie diffuse à partir des champs (ruissellement, dispersion par le vent, etc.) et par des rejets ponctuels (à partir des aires de remplissage et de lavage des pulvérisateurs, p.ex.) [1]. Les biocides et les MédV peuvent également se déverser dans les cours d'eau par le biais des STEP ou des collecteurs d'eaux pluviales (via le lessivage des façades traitées, p.ex.). Mais des émissions à partir des champs sont également possibles quand, par exemple, des biocides ou des MédV sont utilisés dans l'élevage puis déversés dans les champs avec les excréments (soit directement soit par épandage) (*fig. 1*; [1]). Plus les usages pour lesquels un pesticide est autorisé sont nombreux, plus des

informations détaillées sont nécessaires pour pouvoir identifier les applications et voies de rejet significatives pour la pollution des eaux. Or, les données sur les applications (quoi, quand, où, combien, pourquoi) ne sont pas collectées. Pour les PPh, on dispose depuis 2008 d'informations sur les volumes vendus annuellement en Suisse [8]. En revanche, seules des estimations sont disponibles sur les quantités utilisées dans les différents domaines d'application [9, 10], et ces estimations sont particulièrement incertaines pour les substances à usages multiples. Depuis cette année, les quantités de produits biocides mises sur le marché doivent être déclarées, ce qui a permis pour la première fois d'exploiter des données sur les substances actives concernées. Pour certains MédV également, les volumes vendus ces cinq dernières années ont pu être obtenus cette année auprès des responsables de leur mise sur le marché. Le jeu de données sur les utilisations de pesticides s'est donc considérablement étoffé. Outre les volumes de vente, les données collectées dans les cours d'eau peuvent également livrer des indices précieux sur les sources et voies de rejet des pesticides. En effet, la dynamique des concentrations et la modalité d'entrée de pesticides dans

ABRÉVIATIONS UTILISÉES

CQC	Critère de qualité chronique
LEaux	Loi fédérale sur la protection des eaux
MédV	Médicament à usage vétérinaire
NAWA	Observation nationale de la qualité des eaux de surface
OEaux	Ordonnance sur la protection des eaux
OPBio	Ordonnance sur les produits biocides
PPh	Produit phytosanitaire
QR	Quotient de risque
STEP	Station d'épuration

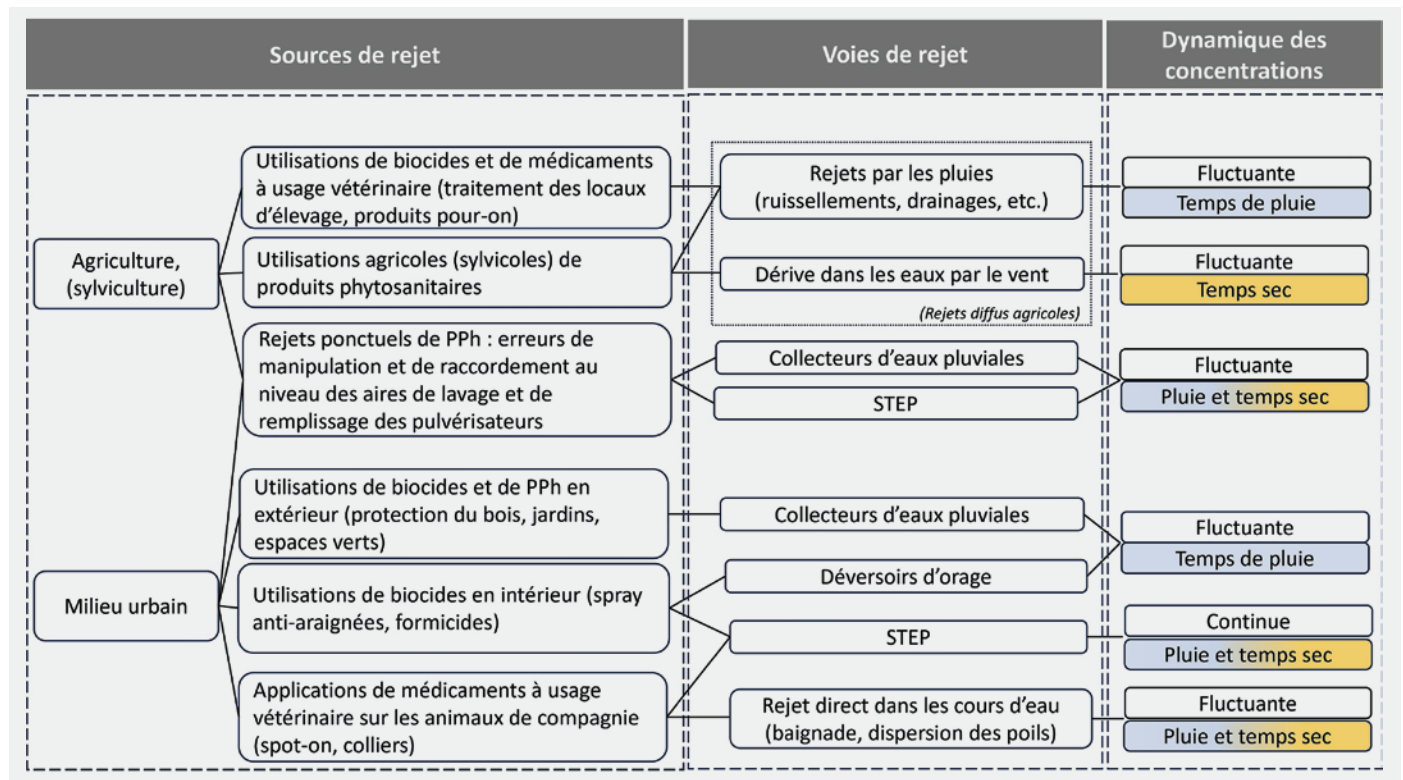


Fig. 1 Représentation simplifiée et non exhaustive des sources de voies de rejet des pesticides (produits phytosanitaires (PPh) et biocides) et des insecticides employés comme médicaments à usage vétérinaire (MédV), ainsi que de la dynamique de concentrations associée dans les cours d'eau [1]. STEP: station d'épuration.

les cours d'eau varient en fonction des applications dont ils sont issus (*fig. 1*). Elles diffèrent notamment selon que: i) les rejets s'effectuent via une station d'épuration (STEP) ou non, ii) il s'agit de rejets continus, fluctuants ou saisonniers et iii) ils sont liés aux pluies ou non. Il est cependant rare de pouvoir trancher nettement, car diverses combinaisons de sources et voies de rejet peuvent produire des dynamiques similaires dans les cours d'eau (*fig. 1*). En recoupant avec les informations sur les volumes mis sur le marché et les applications autorisées, il reste néanmoins possible de cerner les sources et voies de rejet ou, du moins, d'en exclure certaines.

Cet article porte donc sur la question de savoir quelles informations peuvent être obtenues sur les sources et voies de rejet des pesticides à partir des données disponibles sur les volumes mis en vente et les concentrations mesurées dans les cours d'eau suisses dans le cadre de l'Observation nationale de la qualité des eaux de surface (NAWA TREND MP). Il présente les résultats de l'exploitation des données collectées dans les cours d'eau sur neuf des dix pesticides ayant conduit au plus grand nombre de dépassements des critères de qualité écotoxicologiques (CQE) en 2022 et 2023 et étant encore autorisés pour au moins une application pendant ces deux années (*tab. 1*). Il s'agit de cinq herbicides (le nicosulfuron, le foramsulfuron, la métribuzine, le diflufenican et le flufenacet) et de quatre insecticides pyréthrinoïdes (la perméthrine, la cyperméthrine, la deltaméthrine et la lambda-cyhalothrine). Les résultats relatifs au fipronil, le pesticide ayant totalisé le plus de dépassements du CQE en 2022 et 2023, font l'objet d'un article séparé [11].

DONNÉES UTILISÉES

DONNÉES DE SURVEILLANCE

L'analyse s'est notamment fondée sur les données collectées de 2019 à 2023 dans le cadre de NAWA TREND MP. Le jeu de données exploité provenait de 38 stations dans lesquelles les concentrations de pesticides ont été mesurées sans interruption au moyen d'échantillons composites de 14 jours asservis au temps. En complément, des échantillons composites de 3,5 jours ont été prélevés sur 16 de ces sites d'avril à juillet. Les insecticides pyréthrinoïdes ont été quantifiés dans 24 stations de mars à octobre. Pour évaluer la gravité de

la pollution, les concentrations mesurées dans les échantillons bimensuels ont été comparées aux critères de qualité chronique (CQC) déterminés par le Centre Ecotox [12], le rapport des deux indiquant le risque (quotient de risque, QR) [13]. Un $QR > 1$ indique un dépassement du CQC et donc l'existence d'un risque pour les organismes aquatiques. Pour les insecticides pyréthrinoïdes, particulièrement toxiques, des concentrations de l'ordre du nanogramme, voire du picogramme par litre peuvent déjà représenter un risque pour les organismes aquatiques. La mesure de teneurs aussi faibles est très difficile et demande un équipement très sensible. Dans certains cas, même les techniques les plus sensibles à disposition ne suffisent pas à les quantifier. La pollution par les pyréthrinoïdes ne peut donc pas toujours être quantifiée dans sa totalité. La conséquence est non seulement une sous-estimation du risque, mais aussi une image faussée ou du moins incomplète des dynamiques de rejet dans le milieu aquatique.

Le programme NAWA TREND MP est conçu pour la surveillance de la pollution des cours d'eau suisses par les pesticides et autres micropolluants organiques, mais n'est pas parfaitement adapté à l'identification des sources et voies de rejet de ces substances. En effet, le rythme d'échantillonnage de deux semaines ne permet pas de suivre de très près la dynamique des concentrations. Mais, grâce à la diversité de cours d'eau qu'il étudie et à la durée de ses séries de données, il peut malgré tout livrer de précieux indices sur les sources et voies de rejet.

QUANTITÉS MISES SUR LE MARCHÉ

Le volume des ventes de substances actives de PPh est publié chaque année par l'Office fédéral de l'agriculture (OFAG) [8]. Notre analyse s'est fondée sur les données 2022-2023.

En ce qui concerne les produits biocides, les données sur les quantités mises sur le marché ont été communiquées pour la première fois pour l'année 2024 en application de l'art. 30c de l'Ordonnance sur les produits biocides (OPBio). Les premières données sur les substances actives de produits biocides ont ainsi été disponibles à l'été 2025 (dépouillées par l'Office fédéral de l'environnement) [15]. Ces données se basent sur les déclarations faites jusqu'en juin 2025. Étant donné que cette obligation de communi-

quer est nouvelle et qu'il faut en général du temps pour qu'un nouveau règlement soit entièrement appliqué, les déclarations reçues à cette date ne correspondent pas à tous les produits biocides autorisés en 2024. Ces chiffres n'offrent donc qu'un ordre de grandeur des quantités réelles et livrent une base de comparaison avec les PPh et les MédV. Pour les analyses, nous avons utilisé les données de 2024 puisque aucune donnée n'était disponible pour les années antérieures.

Concernant les MédV, des données ont été collectées au premier semestre 2025 sur les quantités mises sur le marché d'un certain nombre d'insecticides utilisés en tant que MédV en usage externe dans les années 2020 à 2024 [16]. Pour notre analyse, nous avons considéré les données 2022-2023.

ANALYSES

APPLICATIONS AUTORISÉES

Afin de circonscrire les sources d'émission, toutes les informations concernant les diverses utilisations autorisées ont été compilées (*tab. 1*). Les cinq herbicides (nicosulfuron, foramsulfuron, flufenacet, métribuzine, diflufenican) sont autorisés en tant que PPh pour les usages professionnels dans les cultures agricoles. Mais, alors que l'autorisation des quatre autres se limite à cet usage, celle du diflufenican s'étend aux gazons d'ornement et de sport. Toutefois, Lutz *et al.* [9] et Spycher *et al.* [10] estiment que les quantités employées dans ce contexte sont très faibles. Dans la période d'étude (2019-2023), la métribuzine et le flufenacet étaient encore autorisés en tant que PPh; leur autorisation a été retirée depuis (date limite d'écoulement des stocks: 1^{er} janvier 2026) [21].

À l'inverse, les quatre insecticides pyréthrinoïdes sont autorisés pour diverses utilisations (*tab. 1*).

La perméthrine est le seul des neuf pesticides à ne pas être employé en tant que PPh. En 2024, 1500-2000 kg de perméthrine ont été déclarés mis sur le marché dans des produits biocides. Une grande partie était intégrée à des produits *pour-on* pour animaux de rente et de pâture. Dans la période d'étude (2019-2023), ces produits étaient autorisés en tant que produits biocides. Ils relèvent cependant théoriquement de la législation sur les produits thérapeutiques depuis 2019 et devraient donc être soumis à une nou-

	Produits phytosanitaires			Biocides		Médicaments à usage vétérinaire		Médicaments à usage humain
	Volume des ventes (2022/2023) ¹	Usages agricoles ²	Usages non agricoles ²	Volume des ventes déclaré (2024) ³	Types de Produits (TP) (8/18) ⁴	Produits ⁵	Volume des ventes (2022/2023) ⁶	
Nicosulfuron	600/10 kg	^{7a} Maïs						
Foramsulfuron	1390/2470 kg	Maïs, betterave sucrière						
Flufénacet	10870/7400 kg	Maïs, pomme de terre, céréales, autres						
Métribuzine	5170/3380 kg	Pomme de terre, carotte, céréales, autres						
Diflufénican	5260/4530 kg	Céréales	Gazon d'ornement et de sport, usages non professionnels					
Perméthrine				1500–2000 kg	TP8 – Protection du bois TP18 – Anti-arthropodes ⁸ (notamment, locaux d'élevage et animaux de rente (pour-on) ⁹)	Produits spot-on pour chiens	165/151 kg	Crèmes contre la gale
Deltaméthrine	110/120 kg	^{7b} Colza, cultures maraîchères, betterave sucrière, autres	Plantes ornementales Entrepôts et locaux de production	10–20 kg	TP18 – Anti-arthropodes ⁸ (hors locaux d'élevage)	Colliers pour chiens Produits pour-on pour animaux de rente	33/32 kg 43/40 kg	
Cyperméthrine	330/200 kg	^{7b} Colza, cultures maraîchères, betterave sucrière, autres	Forêt (piles de bois) Plantes ornementales Usages non professionnels	300–500 kg	TP8 – Protection du bois TP18 – Anti-arthropodes ⁸ (notamment locaux d'élevage)			
Lambda-cyhalothrine	870/1330 kg	^{7b} Colza, cultures maraîchères, betterave sucrière, autres	Plantes ornementales Usages non professionnels	0,001–0,005 kg	TP18 – Anti-arthropodes ⁸ (hors locaux d'élevage)			

¹ Office fédéral de l'agriculture [2025] [8]

² Index des PPh [9, 10, 17]

³ Les volumes des ventes ont été calculés sur la base des quantités de produits biocides mis sur le marché déclarées en 2024, et n'englobent pas tous les produits biocides autorisés [art. 30c, Ordonnance sur les produits biocides, OPBio] [15]

⁴ RPC [18]

⁵ Compendium des médicaments à usage vétérinaire [19]

⁶ Swissmedic [16]

^{7a-b} Substance active autorisée depuis 2023 dans le cadre des prestations écologiques requises (PER) sous réserve d'autorisation spéciale (a) ou en culture maraîchère sans autorisation spéciale (b) [annexe 6.1, Ordonnance sur les paiements directs, OPD].

⁸ Désignation complète: TP18 – Insecticides, acaricides et produits utilisés pour lutter contre les autres arthropodes

⁹ Depuis 2019, les produits à base de perméthrine à appliquer en pour-on sur les animaux de rente relèvent de la législation sur les produits thérapeutiques, mais étaient encore jusqu'à présent autorisés en tant que biocides [20]

Tab. 1 Récapitulatif des applications des neuf pesticides dans la période 2019-2023, ainsi que les volumes de vente disponibles.

velle procédure d'autorisation en tant que MédV [20]. La perméthrine est d'autre part autorisée en tant que médicament à usage humain et à usage vétérinaire pour les chiens. Le volume des ventes de perméthrine en tant que MédV pour chiens est toutefois dix fois plus faible qu'en tant que biocide.

La deltaméthrine est, elle aussi, utilisée comme MédV pour les chiens (colliers, uniquement) et les animaux de rente. Chez ces derniers, les produits pour-on sont également autorisés en tant que MédV (et non en tant que bio-

cides comme pour la perméthrine). La quantité de substance active vendue en tant que MédV pour animaux de rente et de compagnie s'élevait à environ 30-40kg/an en 2022 et 2023. En tant que biocide, la deltaméthrine est utilisée dans des produits de lutte contre les arthropodes sans rapport direct avec l'élevage. Les quantités déclarées dans les produits biocides sont assez faibles (10-20kg en 2024). La majeure partie de la deltaméthrine est employée en tant que PPh (110 respectivement 120 kg), aussi bien dans le domaine agricole (cultures maraîchères,

colza, betterave sucrière, etc.) que dans un contexte non agricole (plantes d'ornement, notamment).

La quantité de cyperméthrine utilisée en tant que PPh a baissé ces dernières années et représentait en 2022 et 2023 330 respectivement 200 kg/an. Les utilisations les plus importantes d'un point de vue quantitatif sont probablement la protection des piles de bois en forêt, les cultures maraîchères et les grandes cultures (colza et betterave sucrière) [9, 10]. La quantité déclarée pour 2024 dans les produits biocides est du même ordre

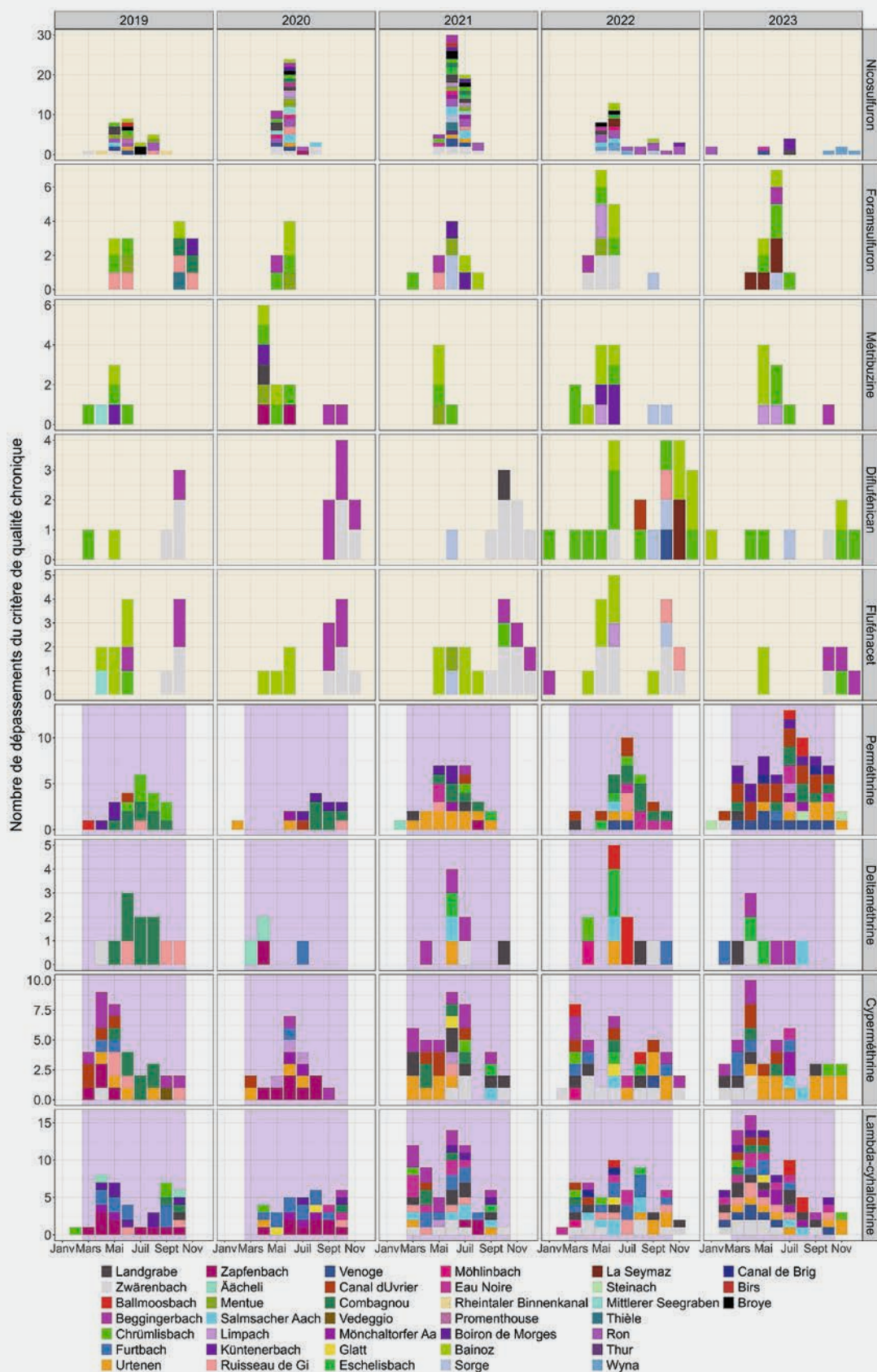


Fig. 2 Moments des dépassements du critère de qualité chronique (CQC) dans les échantillons composites de deux semaines, présentés par mois et par an. Les dépassements sont indiqués pour le mois du début de l'échantillonnage. La couleur du fond correspond à la nature des substances actives et indique la période de mesure: en jaune, les herbicides (mesure toute l'année), en violet, les insecticides pyréthrinoides (mesure de mars à octobre, avec des données hors de cette période pour certains cours d'eau).



Fig. 3 Nombre moyen de dépassements du critère de qualité chronique (CQC) enregistrés pendant cinq ans (2019-2023) dans les cours d'eau recevant ou non des effluents traités de stations d'épuration (STEP). n = nombre de cours d'eau. Fond jaune = herbicides, fond violet = insecticides pyréthrinoïdes, fond gris = exemple de médicament. Le niveau de significativité a été déterminé par un test de permutation (50 000 permutations). ns: non significatif au risque d'erreur de 5%; (****): $p < 0,0001$.

(300-500 kg). La cyperméthrine n'est pas autorisée en tant que MédV.

La lambda-cyhalothrine est de loin le pyréthrinoïde le plus vendu en tant que PPh dans la période 2022-2023 (870 respectivement 1330 kg/an). En dehors des usages agricoles (cultures maraîchères, colza, betterave sucrière, etc.), elle est également employée dans un contexte non agricole (plantes d'ornement). Dans les produits biocides, la lambda-cyhalothrine est autorisée pour la lutte contre les fourmis et les araignées. Les quantités de substance active déclarées sont cependant extrêmement faibles (1-10 g/an). La lambda-cyhalothrine n'est pas autorisée en tant que MédV.

SAISONNALITÉ DES DÉPASSEMENTS

Pour identifier une éventuelle saisonnalité des rejets, nous avons considéré les mois dans lesquels des dépassements du CQC se manifestaient dans les cours d'eau (fig. 2). Il apparaît que les herbicides employés exclusivement en traitement phytosanitaire montrent une saisonnalité dans les eaux, en adéquation avec les périodes d'application dans les cultures agricoles. Cette saisonnalité est particulièrement marquée chez les herbicides pour céréales d'hiver, caractérisés par des dépassements en automne

(métribuzine, flufenacet, diflufenican). Dans l'ensemble, aucune saisonnalité n'est en revanche identifiable pour les insecticides pyréthrinoïdes. Les dépassements s'observent dans de nombreux cours d'eau et se répartissent sur toute la période d'étude (fig. 2). Cela correspond bien à la diversité de leurs usages, dont les périodes d'application se chevauchent et s'étendent sur toute la période d'observation (cf. tab. 1).

INFLUENCE DES STATIONS D'ÉPURATION

Pour évaluer l'implication des STEP dans les voies de rejets, nous avons considéré la différence entre le nombre de dépassements dans les cours d'eau recevant des eaux usées traitées (cours d'eau avec STEP) et ce nombre dans les cours d'eau n'en recevant pas (cours d'eau sans STEP). Si des dépassements se produisent dans des cours d'eau sans STEP, d'autres voies de rejet que la STEP doivent exister. En revanche, dans le détail, la présence de dépassements dans un cours d'eau avec STEP n'indique pas automatiquement une implication de la STEP. Toutefois, et tous cours d'eau confondus, si le nombre de dépassements est nettement supérieur en présence d'une STEP, la présomption est forte d'une implication significative

des STEP dans les rejets. Ainsi, les substances rejetées presque exclusivement avec les eaux usées domestiques ne conduisent à des dépassements quasiment uniquement dans les cours d'eau avec STEP. La figure 3 l'illustre bien pour le médicament diclofénac. Dans le cas des pesticides rejetés via les STEP, la source n'est en général pas clairement identifiable, car ils peuvent provenir de différents usages (notamment des utilisations agricoles produisant des rejets ponctuels de PPh par les aires de lavage et de remplissage; fig. 1).

Comme le montre la figure 3, les neuf substances actives étudiées se distinguent toutes de composés qui, comme le diclofénac, transitent presque exclusivement par les STEP pour atteindre le milieu aquatique. Pour chacune d'elles, d'autres voies de rejet doivent exister. On observe toutefois des différences entre les herbicides et les pyréthrinoïdes. Pour les herbicides, le transit par les STEP semble jouer un rôle négligeable puisque le nombre de dépassements tend à être plus élevé dans les cours d'eau sans STEP (les différences ne sont cependant pas significatives). Dans les cours d'eau avec STEP dans lesquels des dépassements sont mesurés, des rejets issus de la STEP ne peuvent toutefois être exclus. Dans le cas des insecticides

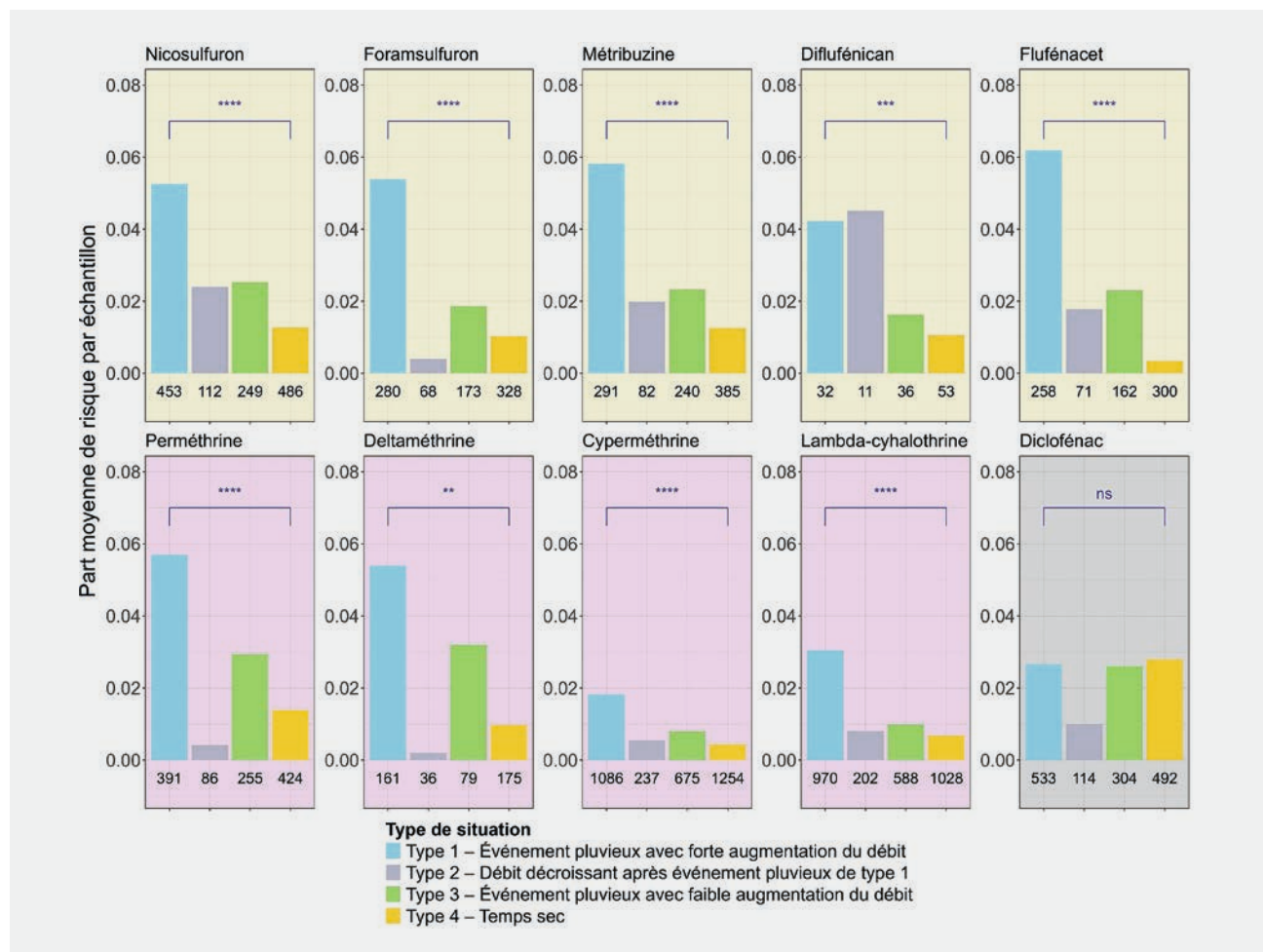


Fig. 4 Part moyenne d'un échantillon au risque global annuel pour les situations de type 1 à 4. Données de mesure 2019-2023. Chiffre sous les barres: nombre d'échantillons par type de situation. Le niveau de significativité a été déterminé par un test de permutation. ns: non significatif au niveau $\alpha = 0,05$; (**): $p < 0,01$; (****): $p < 0,0001$.

pyréthrinoides, le nombre de dépassements est, en moyenne, similaire dans les cours d'eau avec ou sans STEP. Aussi, les voies de rejet issues des STEP semblent jouer un rôle au même titre que celles n'y passant pas.

TYPOLOGIE DES SITUATIONS DE REJET

Le but de cette analyse était de savoir si les rejets de pesticides étaient liés aux pluies ou s'ils n'en dépendaient pas et pouvaient également se produire par temps sec (fig. 1). Pour cela, nous avons utilisé les données d'échantillons composites de 3,5 jours prélevés d'avril à juillet. Chaque échantillon a alors été classé dans une catégorie correspondant à un type de situation en considérant le débit et les précipitations mesurés pendant la période d'échantillonnage [22, 23]. On distingue les quatre types de situations suivants:

- Type 1: événement pluvieux avec forte augmentation du débit
- Type 2: débit décroissant après événement pluvieux de type 1

- Type 3: événement pluvieux avec faible augmentation du débit
- Type 4: temps sec (sans précipitations)

Sur la base de cette classification des échantillons, nous avons calculé pour chaque pesticide et chaque type de situation, la contribution moyenne d'un échantillon au risque évalué dans le cours d'eau (part moyenne de risque par échantillon). Le calcul s'est effectué en deux étapes:

1. Part de risque par échantillon = risque par échantillon/risque total par an et par cours d'eau
2. Part moyenne de risque par échantillon = moyenne des parts de risque de tous les échantillons d'un type de situation

Une part moyenne de risque par échantillon significativement plus forte par temps de pluie (types 1 à 3) que par temps sec (type 4) indique une dépendance de la dynamique des rejets vis-à-

vis des pluies et des débits (fig. 1). Si, en revanche, la part moyenne de risque par échantillon diffère peu d'un type de situation à l'autre, la pluie et le débit ont globalement peu d'influence sur les rejets. Il s'agit alors de rejets indépendants des précipitations, qui se produisent aussi bien par temps de pluie que par temps sec. Une telle indépendance est, par exemple, caractéristique des substances actives rejetées via les STEP, comme le montre la figure 4 dans le cas du diclofenac.

Il apparaît dans la figure 4 que, pour tous les pesticides étudiés ici, la part moyenne de risque par échantillon est significativement plus élevée lors des événements pluvieux avec une forte augmentation de débit (type 1) que par temps sec (type 4) (fig. 4). Toutes années et tous cours d'eau confondus, les voies de rejet dépendantes des pluies et des débits représentent donc une part dominante des risques pour le milieu aquatique. Les pesticides considérés diffèrent donc

également sur ce point des substances comme le diclofénac, qui se déversent en continu à travers les STEP (fig. 4). Il est important de noter qu'il s'agit d'une tendance générale observée dans la globalité des cours d'eau et que la variabilité interannuelle et spatiale reste forte. La dynamique des rejets dans un cours d'eau donné ou lors d'une année donnée peut donc dévier de la tendance générale et, dans certains cas, des rejets indépendants des pluies peuvent également jouer un rôle important. Cela correspond bien aux résultats de la campagne NAWA SPEZ, dans laquelle il a été démontré que les substances empruntaient différentes voies de rejet selon les sites [24].

DISCUSSION

Les résultats de l'analyse des données de surveillance dans les cours d'eau doivent être interprétées individuellement pour chaque pesticide, en fonction de son statut d'autorisation.

Les herbicides étudiés n'étant quasiment autorisés que pour les usages agricoles (tab. 1), les applications de PPh dans les cultures agricoles sont clairement identifiables comme sources de rejet. Les résultats montrent que les rejets passant par les STEP jouent un rôle subalterne pour le risque environnemental et que les rejets entraînés par les pluies contribuent fortement à ce risque dans la plupart des cours d'eau et la plupart des années (fig. 1). Il convient cependant de souligner que la dynamique des rejets varie

selon les cours d'eau, les années et les substances actives. Dans certains cours d'eau, d'autres voies de rejet peuvent être déterminantes, comme les émissions générées par des stations de lavage et de remplissage mal raccordées aux réseaux d'égouts, lesquelles sont indépendantes des pluies.

Dans le cas de la lambda-cyhalothrine, les quantités vendues permettent également de situer la source de rejet dans les applications de PPh. La dépendance des rejets par rapport aux pluies, en particulier dans les petits cours d'eau sans STEP en milieu rural, trahit d'autre part une origine agricole et diffuse. Mais, contrairement au cas des herbicides, les rejets par les STEP liés aux apports d'aires de lavage et de remplissage mal raccordées semblent jouer un rôle non négligeable dans les émissions de lambda-cyhalothrine. Cette observation se voit confirmée par les résultats de la campagne NAWA SPEZ 2023 [24].

Pour la perméthrine, les résultats montrent que les dépassements se produisent fréquemment dans les cours d'eau sans STEP et que les rejets fluctuent et sont liés aux pluies. Cette dynamique ne correspond pas à une utilisation en traitement vétérinaire des chiens, qui provoquerait des émissions indépendantes des pluies (cf. fig. 1; [11]). En revanche, plusieurs utilisations en extérieur de la perméthrine en tant que biocide pourraient entraîner des rejets liés aux pluies (traitement du bois, produit de traitement des locaux d'élevage déversés dans les champs avec le lisier, produits *pour-on* appliqués sur le bétail, etc.) (fig. 1). Le rôle majeur de ces utilisations en extérieur en tant que biocide se voit confirmé par les volumes de vente. Les quantités déclarées dans les produits biocides, soit 1500 – 2000 kg, sont plus de 10 fois supérieures aux quantités vendues en tant que MédV pour chiens. La part importante, dans ces ventes, des produits *pour-on* pour animaux de rente et de pâture est particulièrement marquante. Dans le cas de la cyperméthrine et de la deltaméthrine, les sources sont plus difficiles à cerner. La dépendance des rejets vis-à-vis des pluies indique, ici aussi, une forte implication des usages en extérieur. En dehors des applications en tant que PPh, pour lesquelles les deux insecticides sont employés en quantités importantes, les volumes de vente et les analyses des cours d'eau indiquent que certaines uti-

lisations en tant que biocide (cyperméthrine) et MédV (deltaméthrine) pourraient être des sources de rejets. Dans le cas de la cyperméthrine, elles seraient liées aux applications de protection du bois, lessivées directement par les pluies, ou aux produits de traitement des locaux d'élevage, exportées avec le lisier dans les champs, puis lessivées. Dans le cas de la deltaméthrine, les applications en tant que produit *pour-on* sur les animaux de rente peuvent également produire la dynamique observée, mais les volumes de vente plaident pour un rôle plus important des utilisations en tant que PPh (tab. 1).

CONCLUSION

Dans cette étude, nous avons évalué dans quelle mesure les informations disponibles sur les volumes de vente et les données d'analyse issues de l'observation nationale des cours d'eau permettaient de cerner les sources et voies de rejet des neuf pesticides présentant le plus grand nombre de dépassements du critère de qualité chronique. Une identification précise nécessiterait des données détaillées sur les applications (quoi, quand, où, combien, pourquoi), que les données collectées dans les cours d'eau et les volumes de vente ne sauraient remplacer. Nos analyses ont néanmoins livré de précieux indices.

Dans l'ensemble, nos analyses confirment l'importance cruciale de réduire aussi bien les rejets diffus que les rejets ponctuels (par l'assainissement des aires de lavage et de remplissage, notamment) pour réduire la pollution des cours d'eau par les PPh. Elles montrent aussi qu'une attention plus forte doit être prêtée, dans l'évaluation des risques et dans la recherche, aux applications en extérieur des pyréthri-noïdes en tant que biocides et que MédV (dans l'élevage, la protection du bois, etc.), dans la mesure où les voies de rejet dans les cours d'eau à partir de ces applications sont très mal connues et où elles peuvent constituer des sources significatives en dehors des usages en tant que PPh. Pour la protection des eaux, il reste néanmoins important de réduire toutes les utilisations, surtout de substances actives qui, comme les insecticides pyréthri-noïdes, constituent un risque environnemental majeur pour le milieu aquatique, déjà avec des concentrations extrêmement faibles.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier l'OFEV pour la mise à disposition des données de mesure. Tous nos remerciements, également, aux personnes suivantes pour leur précieuse collaboration, leurs commentaires éclairés et leur aide pour l'élaboration de cet article: Irene Wittmer (Ct. BE), Christian Götz (Ct. ZH), Christoph Moschet (Ct. SH); Urs Schönenberger et Christian Leu (tous deux OFEV); Anne Dietzel et Ruth Scheidegger (toutes deux VSA/Plateforme «Qualité des eaux»); Cedric Müntener et Nina Walser (tous deux Swissmedic); Heinz Singer, Vera Ganz, Johannes Schorr, Andreas Scheidegger et Kim Luong (tous Eawag).

Nous tenons tout particulièrement à remercier Nicole Munz (OFEV), qui nous a accompagnés dans l'élaboration de cet article et nous a grandement fait profiter de son immense savoir.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Braun, C. et al. (2015): Micropolluants dans les cours d'eau provenant d'apport diffus. Analyse de la situation. Etat de l'environnement UZ-1514-F
- [2] Doppler, T. et al. (2012): Spatial variability of herbicide mobilisation and transport at catchment scale: insights from a field experiment. *Hydrology and Earth System Sciences* 16(7): 1947-1967
- [3] la Cecilia, D. et al. (2022): Transport von Pflanzenschutzmitteln. Identifizierung von Transportprozessen in Gewässern anhand von Monitoringstudien. *Aqua & Gas* 4/2022: 68-74
- [4] 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(14): 3827-3834
- [5] Munz, N. et al. (2013): Pesticides dans les cours d'eau suisses – Aperçu de la situation à l'échelle nationale. *Aqua & Gas* 7+8/2013: 78-87
- [6] Prasuhn, V. et al. (2018): Réduire les apports de produits phytosanitaires dus à l'érosion et au ruissellement. *Recherche agronomique suisse* 9(2): 44-51
- [7] Schönenberger, U. et al. (2020): Hydraulische Kurzschlüsse. *Aqua & Gas* 11/2020: 65-71
- [8] Office fédéral de l'agriculture (OFAG) (2025): Substances actives de produits phytosanitaires: volume des ventes. Retrieved 19.08.2025 from <https://www.blw.admin.ch/fr/substances-actives-de-produits-phytosanitaires-volume-des-ventes>
- [9] Lutz, E. et al. (2023): Analyse zum Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in der Schweiz. *Agrosc Sci* 173(109): 10.34776
- [10] Spycher, S. et al. (2022): Bewertung agronomischer Massnahmen zum Schutz von Oberflächengewässern vor PSM. EBP. <https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/wasser/externe-studien-berichte/bewertung-agronomischer-massnahmen-zum-schutz-von-oberflaechengewassern-vor-psm.pdf>
- [11] Barth, S. et al. (2025): Fipronil belastet die Fließgewässer - Antiparasitäre Tierarzneimittel für Heimtiere als wahrscheinlichste Quelle. *Aqua & Gas* 10/2025: 90-95
- [12] Centre Ecotox (2025): Propositions de critères de qualité pour les eaux de surface émises par le Centre Ecotox. Retrieved 25.08.2025 from <https://www.centreecotox.ch/prestations-d-expert/criteres-de-qualite-environnementale/propositions-de-criteres-de-qualite>
- [13] Wittmer, I. et al. (2024): Interkantonale Empfehlung, Methode zur Untersuchung und Beurteilung von Fließgewässern, Organische Mikroverunreinigungen - numerische Anforderungen Anhang 2 GSchV. Bern: Lab'Eaux Retrieved from <https://www.labeaux.ch/docs.php?viewmode=show&id=1189&lang=d>
- [14] Rösch, A. et al. (2019): Picogram per liter quantification of pyrethroid and organophosphate insecticides in surface waters: a result of large enrichment with liquid-liquid extraction and gas chromatography coupled to mass spectrometry using atmospheric pressure chemical ionization. *Analytical and bioanalytical chemistry* 411(14): 3151-3164
- [15] Office fédéral de l'environnement (OFEV) (2025): Division Protection de l'air et produits chimiques, section Biocides et produits phytosanitaires. (2025). Communication personnelle
- [16] Swissmedic. (2025): Communication personnelle
- [17] Spycher, S. et al. (2020): Evaluation von Massnahmen zum Schutz des Grundwassers vor PSM und deren Metaboliten. OFEV
- [18] Office fédéral de la santé publique (OFSP) (2025): Registre des produits chimiques (RPC), Organe commun de notification des produits chimiques de l'OFEV - OFSP - SECO. <https://www.gate.bag.admin.ch/rpc/ui/home>
- [19] Compendium suisse des médicaments vétérinaires (2025): <https://www.vetpharm.uzh.ch/perldocs/kompend3.htm>
- [20] Organe commun de notification des produits chimiques (2019): Insecticides topiques contenant de la perméthrine. Retrieved 28.07.2025 from <https://www.anmeldestelle.admin.ch/fr/insecticides-topiques-contenant-de-la-permethrine>
- [21] Office fédéral de la sécurité alimentaire et des affaires vétérinaires (OSAV) (2025): Adaptations concernant les substances actives. Retrieved 28.08.2025 from <https://www.blv.admin.ch/blv/fr/home/zulassung-pflanzenschutzmittel/anwendung-und-vollzug/wirkstoffanpassungen.html>
- [22] Dübendorfer, C. et al. (2023): Typisierung der PSM-Eintragsereignisse anhand von Monitoringdaten. https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/wasser/externe-studien-berichte/psm-eintragstypen_20230613.pdf.download.pdf/psm-eintragstypen_20230613.pdf
- [23] Riedi, J. (2019): Identifikation der dominanten Eintragspfade von Pflanzenschutzmitteln ins Gewässer durch Kombination verschiedener Datenquellen. Masterarbeit, Universität Basel
- [24] Schorr, J. et al. (2025): Pestizideinträge in Fließgewässern - NAWA Spez 2023: Wirkstoffe, ökotoxikologisches Risiko, diffuse Eintragspfade vs. Einträge aus ARA. *Aqua & Gas* 10/2025: 70-78

> SUITE DU RÉSUMÉ

verschiedene Anwendungen als PSM und Biozid (Cypermethrin) oder PSM und TAM (Deltamethrin) als wichtigste Quellen in Frage.