

Réduire les apports de produits phytosanitaires dus à l'érosion et au ruissellement

Volker Prasuhn¹, Tobias Doppler², Simon Spycher³ et Christian Stamm³

¹Agroscope, 8046 Zurich, Suisse

²Plateforme VSA «Qualité de l'eau», 8600 Dübendorf, Suisse

³Eawag, 8600 Dübendorf, Suisse

Renseignements: Volker Prasuhn, e-mail: volker.prasuhn@agroscope.admin.ch



Les petits cours d'eau sont souvent pollués par des apports de produits phytosanitaires.

(Photo: Gabriela Brändle, Agroscope)

Introduction

Les analyses d'eau effectuées récemment montrent que dans les bassins versants agricoles, les cours d'eau sont souvent très pollués par les produits phytosanitaires (PPH). Les exigences quantitatives de l'Ordonnance sur la protection des eaux en ce qui concerne les PPH (0,1 µg/l par substance) ne sont pas remplies. En outre, les critères de qualité basés sur des données écotoxicologiques sont régulièrement dépassés, notamment dans les petits cours d'eau (Munz *et al.* 2012; Wittmer *et al.* 2014; Doppler *et al.* 2017). Étant donné la longueur des tronçons contaminés, le nombre de substances et le risque d'effets écotoxicologiques, l'agriculture est la principale source des apports diffus de PPH (Braun *et al.* 2015). La dynamique de concentration observée dans les cours d'eau indique clairement quels sont les principaux procédés d'apport. Les pics élevés de PPH sont souvent relevés dans les petits cours d'eau pendant et après des épisodes pluvieux, ce qui s'explique par le ruissellement,

l'érosion ou le débit de drainage rapide. Les observations sur le terrain confirment cette interprétation.

Le «Plan d'action visant à la réduction des risques et à l'utilisation durable des produits phytosanitaires» a pour ambition une nette réduction des apports de PPH dus à l'agriculture dans les cours d'eau (Conseil fédéral, 2017). Pour réduire la contamination des eaux, il est entre autres nécessaire de prendre des mesures pour diminuer le ruissellement et l'érosion. Les mesures présentées par Hanke *et al.* (2014) et Alix *et al.* (2017) sont compatibles avec l'autorisation des PPH. De nouvelles directives relatives à la réduction des risques liés à l'utilisation des produits phytosanitaires en cas de ruissellement sont actuellement en préparation à l'Office fédéral de l'agriculture (OFAG).

Cet article fait la synthèse des mesures visant à réduire les apports dans les cours d'eau de PPH provenant des surfaces cultivées. Il décrit aussi les mesures de réduc-

tion indépendantes de l'autorisation des produits. Il se concentre sur les voies d'apports de substances que sont l'érosion, le ruissellement et le drainage – domaines où la protection des eaux et la protection des sols se chevauchent. Les mesures de réduction portant sur d'autres voies d'apport comme la dérive, le lessivage dans les eaux souterraines, les apports de sources ponctuelles ou la réduction de l'emploi des PPh, ainsi que les mesures phytosanitaires préventives, ne sont pas considérés dans cet article. La synthèse de mesures présentée ici se limite aux grandes cultures et aux surfaces maraîchères. Elle n'inclut pas les cultures pérennes comme les vergers et la vigne, ni l'horticulture et les jardins privés, pour lesquels il existe parfois des mesures spéciales.

Principales voies de transport

Un écoulement de surface peut se produire à la suite de précipitations ou à la fonte des neiges, lorsque le sol est saturé en eau jusqu'à la surface (excès de saturation), ou lorsque l'intensité des précipitations dépasse les capacités d'absorption du sol (excès d'infiltration) (fig. 1). Ce dernier phénomène peut se produire notamment en cas de fortes pluies et sur des sols battants, durs ou gelés. L'excès de saturation concerne souvent les sites présentant des couches imperméables (naturellement ou suite à un compactage du sol), proches des eaux souterraines, les cuvettes, les dépressions et les pieds de versants. L'écoulement qui se produit en surface suite à ces deux phénomènes peut conduire à l'érosion du sol (transport de sédiments et de particules) et/ou au ruissellement (transport de substances dissoutes). Le transport peut avoir lieu sur toute la surface ou de manière concentrée (rainures, talwegs). L'érosion du sol par l'eau est toujours accompagnée de ruissellement, tandis que le ruissellement peut également se produire sans érosion du sol. L'écoulement par drainage n'appartient pas vraiment à l'écoulement de surface mais plutôt à l'écoulement par infiltration. L'écoulement de surface peut cependant gagner le système de drainage en empruntant des voies préférentielles (macropores) et en contournant la matrice du sol. Les drainages débouchant généralement dans les eaux de surface, ils forment ainsi un court-circuit qui aboutit aux cours d'eau.

L'écoulement de surface et l'écoulement par drainage sont souvent couplés dans le temps et dans l'espace, et difficiles à distinguer l'un de l'autre. Le transport des PPh dans les cours d'eau peut se faire directement ou indirectement via l'évacuation des eaux des sentiers et des chaussées, les bouches d'égout, les chambres de visite ou les drainages. Par conséquent, des surfaces très éloignées des cours d'eau peuvent également contribuer à la pollution des eaux par les PPh.

Résumé ■ En Suisse, de nombreux petits cours d'eau sont très pollués par les produits phytosanitaires (PPh). L'érosion et le ruissellement sont des voies d'apport importantes. Cet article résume les mesures visant à réduire les apports de PPh dans les cours d'eau, en provenance des terres assolées et entraînés par l'érosion, le ruissellement et le drainage. L'article propose également une évaluation qualitative des mesures, basée sur l'avis d'experts, en ce qui concerne l'état des recherches, leur caractère pratique, leur acceptation, l'état de mise en œuvre et le potentiel de réduction. L'efficacité de nombreuses mesures est scientifiquement prouvée et elles sont souvent également adaptées à la pratique. L'acceptation des mesures par les agriculteurs et les agricultrices, et surtout leur mise en œuvre, pourraient en revanche être nettement améliorées. De nombreuses mesures sont très efficaces pour réduire les apports de PPh au niveau local, mais peu d'entre elles peuvent être appliquées à l'ensemble du territoire. Étant donné la grande variété des spécificités locales en Suisse, les mesures de réduction doivent donc être prises à l'échelle régionale et adaptées au site.

Mesures de réduction

Il est pratiquement impossible d'empêcher totalement l'écoulement de surface ou le ruissellement et l'érosion sur les terrains agricoles en pente, mais il est possible de les limiter. On ne peut jamais exclure totalement les conjonctures défavorables que représentent un début de phase culturale et de fortes précipitations, sources d'écoulement de surface. Les mesures de réduction peuvent être classées en différents types (fig. 2). Elles peuvent concerner la totalité de la parcelle exploitée (p.ex. semis sous mulch ou couverture végétale en hiver) ou seulement des parties (p.ex. enherbement de la bordure du champ), ou encore s'appliquer en dehors de la parcelle afin de casser la connexion avec les cours d'eau (p.ex. bandes-tampons enherbées au bord des cours d'eau). De nombreuses mesures sont de nature agronomique, c'est-à-dire qu'elles doivent être exécutées par l'agriculteur lui-même dans le cadre de ses travaux agricoles. Il existe également des solutions plus techniques, comme la mise en place de bassins de rétention ou de fossés et de digues de protection. En fin

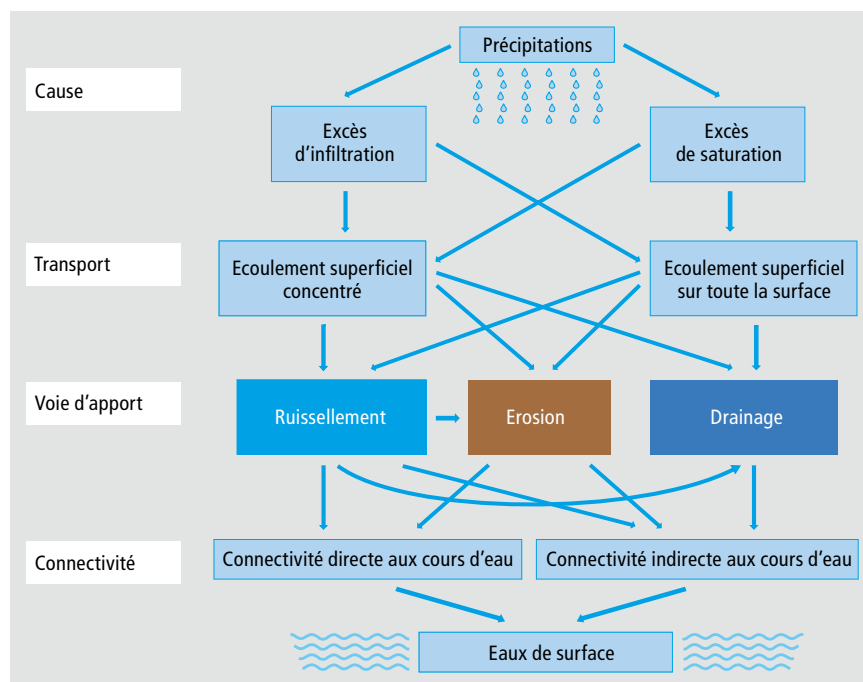


Figure 1 | Schéma des principaux processus et facteurs d'influence qui contribuent aux apports de polluants dans les eaux de surfaces par le biais du ruissellement, de l'érosion et des drainages.

de compte, de nombreuses mesures visent à combattre directement les causes, c'est-à-dire l'écoulement de surface, le ruissellement et l'érosion. Quant aux mesures comme les bandes tampons en bordure des cours d'eau, elles luttent plutôt contre les symptômes – leur unique but étant d'empêcher le déversement dans les eaux – mais pas contre les véritables causes. Suivant la cause et les conditions locales, les mesures de différents types peuvent être équivalentes ou utilisées de manière combinée. Les mesures agronomiques, qui luttent contre les causes sur l'ensemble de la parcelle, sont prioritaires car l'effet qu'on peut en attendre est particulièrement durable et efficace.

Etat de la recherche

L'état de la recherche et des connaissances en ce qui concerne l'érosion du sol est bon à très bon. Ce constat est valable tant à l'échelle internationale que nationale, autant en ce qui concerne la compréhension des processus que l'efficacité des mesures de réduction. Il existe une carte nationale des risques d'érosion (CRE2), une carte des zones attenantes à des eaux de surface (GAK2), différents catalogues de mesures et fiches techniques, un monitoring longue durée dans la région de Frienisberg (BE) et un outil, nommé Plan de mesures Erosion (Agridea 2017).

L'état des recherches est un peu moins bon en ce qui concerne le ruissellement, quoique satisfaisant. Il existe différentes études de cas, notamment en rapport avec le

ruissellement du phosphore (P). Par contre, les connaissances relatives à l'écoulement par drainage sont lacunaires et insatisfaisantes. Bien que, globalement, on comprenne les processus de transport, il n'est guère possible d'établir des prévisions quantitatives sur les pertes de substances dues au drainage dans les différents champs ou bassins versants. Premièrement, les données disponibles sur l'emplacement exact, la répartition et l'état des systèmes de drainage en Suisse sont limitées. Deuxièmement, il n'existe pas de modèles simples pouvant être appliqués à grande échelle, capables de décrire de manière fiable les interactions complexes qui régissent les cycles de l'eau et des substances. Par ailleurs, il manque encore des cartes pédologiques à grande échelle dans de grandes parties de la Suisse, très importantes pour évaluer le risque d'apports de PPh dans les eaux sous l'effet de l'érosion, du ruissellement et du drainage.

Parallèles entre les apports de P et de PPh

Les processus de transport de nombreux PPh sont très semblables à ceux du P, lequel est fortement adsorbé par le complexe argilo-humique. Pour de nombreux PPh également, la matière organique est la principale matière adsorbante dans le sol. Le transport particulaire du P via l'érosion est donc semblable au transport particulaire des PPh (important pour les substances avec une tendance à être adsorbées). Cependant, le facteur d'enrichissement des PPh dans les matériaux d'érosion

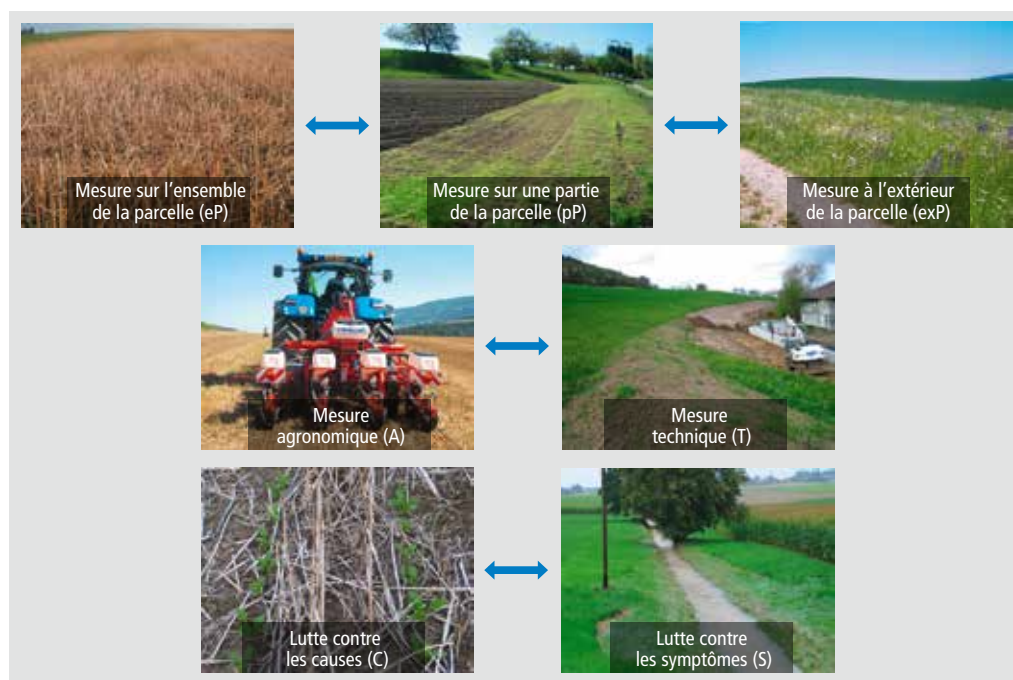


Figure 2 | Types de mesures contre les apports de produits phytosanitaires dans les cours d'eau. Les lettres entre parenthèses servent à la classification des mesures dans le tableau 1.

dépend de la substance et est donc très varié. Le transport de P dissous par le ruissellement provenant des surfaces cultivées se déroule de la même manière que le transport de PPh dissous (important pour les substances qui n'ont pas tendance à être adsorbées). Dans les drainages également, les pertes de P et de PPh sont généralement pilotées par les événements, c'est-à-dire que les concentrations augmentent avec l'écoulement. Des études réalisées en Suède montrent en outre des corrélations claires entre les concentrations de P et de PPh. Par rapport à la stratégie de réduction des PPh, cela signifie que toutes les mesures de protection contre l'érosion sont adaptées pour limiter les apports de PPh via le ruissellement qui y est lié. Les mesures de protection contre l'érosion visent cependant en priorité le transport des particules. Des mesures différentes ou complémentaires sont donc nécessaires pour réduire les PPh dissous par le ruissellement. Les apports de PPh via l'écoulement préférentiel dans les drainages peuvent également être réduits par certaines mesures. En effet, les voies d'écoulement préférentiel ne deviennent importantes que si une grande quantité d'eau y pénètre latéralement à proximité de la surface. Toutefois, il est difficile de quantifier le potentiel de réduction des apports par drainage. Des recherches sont encore nécessaires sur ce point. Outre la réduction des apports de PPh dans les cours d'eau, toutes les mesures qui s'appliquent à la parcelle ont d'autres avantages: elles permettent de préserver la fertilité du sol ou de réduire les apports d'éléments

nutritifs dans les cours d'eau (eutrophisation); certaines encouragent aussi la biodiversité et augmentent la disponibilité de l'eau du sol et la recharge de la nappe phréatique.

Résultats

La principale mesure de réduction consiste à favoriser l'infiltration la plus complète possible de l'eau de pluie dans le sol. Un travail du sol de faible intensité et une préparation grossière du lit de semences sont le meilleur moyen d'arriver à un tel résultat. Outre la réduction des pertes par érosion et ruissellement, l'infiltration complète a d'autres effets agronomiques positifs, comme l'amélioration du stockage de l'eau et des éléments nutritifs. Le compactage du sol est une cause majeure de la réduction de l'absorption d'eau par le sol et de l'excès de saturation. Les connaissances et la technique nécessaires aux mesures à prendre contre le compactage du sol sont disponibles (p. ex. Terranimo, www.terranimo.ch), mais les charges croissantes des véhicules et les pressions des délais auxquels sont soumis les agriculteurs et les agricultrices ou les entrepreneurs de travaux agricoles compliquent les choses. Toutes les autres mesures répertoriées dans le tableau 1 sont utiles en complément, car il n'est pas toujours possible d'assurer une infiltration complète à l'aide des mesures citées plus haut. Les mesures de réduction doivent être spécifiques au site. Toutes les mesures ne conviennent pas à tous les

Tableau 1 | Evaluation de mesures, basée sur l'avis d'experts, visant à réduire la contamination des eaux par les produits phytosanitaires suite à l'érosion et au ruissellement. Pour une description plus précise des mesures voir TOPPS-Prowadis (2014) et Agridea (2017).

Mesure	Etat des connaissances	Applicabilité, praticabilité	Acceptation par les agriculteurs	Etat de l'application en CH	Potentiel de réduction de l'apport de PPh	Type de mesures et processus (fig. 1 et 2)		
Réduction de l'intensité de travail du sol	++	++	+	+	++	eP	A	C
Préparation grossière du lit de semences	++	++	0	0	++	eP	A	C
Prévention du compactage du sol	++	+	+	-	++	eP	A	C
Chaulage (augmentation du pH)	++	++	++	+	0	eP	A	C
Apport de matière organique	++	+	+	0	+	eP	A	C
Choix des cultures et optimisation de la rotation	++	-	-	+	++	eP	A	C
Mise en place de cultures intermédiaires, couverture végétale en hiver	++	+	++	+	+	eP	A	C
Double densité de semis pour le semis en ligne, semis croisé	0	+	+	-	0	eP	A	C
Cultures mixtes (légumineuses-céréales)	+	++	+	0	0	eP	A	C
Mise en place de micro-barrages ou de matelas de paille dans les cultures en buttes	-	0	?	-	?	pP	A	C
Exploitation exactement parallèle aux lignes de niveau (GPS)	++	-	-	-	0	eP	A	C
Mise en place de bandes perpendiculaires à la pente	++	+	+	+	+	eP	A	C
Planification et disposition des voies de passage	+	+	0	0	0	pP	A	C
Ameublissement et végétalisation des voies de passage; mise en place de buttes de terre	-	?	-	-	?	pP	A	C
Enherbement des voies de récolte (légumes)	+	++	+	0	0	pP	A	C
Elargissement du chaintre (perpendiculairement à la pente)	-	?	-	-	?	pP	A	C
Végétalisation du chaintre	0	+	-	-	0	pP	A	C
Bandes-tampons enherbées sur la parcelle	++	+	-	0	0	pP	A	S/C
Zones tampons au fond des talwegs (<i>grassed waterways</i>)	+	-	-	-	0	pP	A/T	S/C
Mise en place de haies sur la parcelle	++	-	-	-	0	pP	A/T	S/C
Entretien des accès à la parcelle	-	?	?	-	?	pP	A/T	S/C
Bandes-tampons enherbées sur les bordures de champ plus basses	++	+	-	-	+	exP	A/T	S
Bandes-tampons enherbées au bord des cours d'eau	++	++	+	+	+	exP	A/T	S
Bandes-tampons enherbées aux abords des grilles d'évacuation des eaux	0	?	?	-	?	exP	A/T	S
Mise en place de bassins de rétention	0	-	-	-	0	exP	T	S
Mise en place de buttes enherbées ou de fossés (bord de champ)	++	-	-	-	0	exP	T	S
Déviations des eaux (sillons)	0	-	0	0	-	pP	T	S

++ = très bon + = bon 0 = moyen - = faible ? = incertain ■ = excès d'infiltration ■ = excès de saturation ■ = les deux

eP = ensemble de la parcelle pP = partie de la parcelle exP = extérieur de la parcelle A = agronomique T = technique C = lutte contre les causes S = lutte contre les symptômes

sites, et toutes les mesures n'ont pas le même effet sur tous les sites. Il est souvent utile de les combiner. Les mesures doivent être appliquées en commun par plusieurs exploitations, lorsque l'écoulement de surface touche plusieurs parcelles appartenant à différents exploitants ou que l'apport d'eau provient de surfaces non agricoles (routes, forêts). Les spécialistes se sont délibérément abstenus de quantifier le potentiel, car l'effet des mesures dépend en grande partie du site et parce que les résultats trouvés dans la littérature sur de nombreuses mesures montrent eux aussi une grande dispersion. Cela a été démontré de manière impressionnante pour l'effet des bandes tampons (Reichenberger *et al.* 2007). C'est pourquoi les approches actuelles en matière d'évaluation des risques relatifs aux apports de PPh offrent toujours un éventail de mesures possibles, parmi lesquelles

les plus appropriées peuvent être choisies en fonction de la situation sur le terrain.

Il existe déjà différentes approches pour évaluer le risque d'un apport de PPh provenant des terres cultivées dans les cours d'eau par le biais de l'érosion et du ruissellement (TOPPS-Prowadis 2014; Bühler et Daniel 2017; Noll *et al.* 2010). Le diagnostic de risque d'une parcelle repose sur une matrice d'évaluation qui analyse les principaux facteurs d'influence du ruissellement, de l'érosion et des drainages ainsi que la connectivité à un cours d'eau. L'approche de Bühler et Daniel (2017) a été utilisée avec succès en Suisse et constitue une démarche appropriée. Suivant la classification du risque, il est possible de formuler des recommandations pour les mesures de réduction. C'est la France qui a le plus d'expériences avec ce type d'approches. La méthodologie d'évaluation

développée par l'Institut ARVALIS y est appliquée sur plus d'un million d'hectares (B. Réal, ARVALIS, comm. pers. 2016); mais de gros efforts sont également consentis dans d'autres pays voisins pour mettre en pratique la directive-cadre européenne sur l'eau visant à réduire les apports de PPh.

Le tableau 1 récapitule les principales mesures de réduction des apports de PPh dans les eaux sans prétendre à l'exhaustivité et en s'appuyant sur des catalogues de mesures existants (TOPPS-Prowadis 2014; OFAG et OFEV 2016; Agridea 2017). Le manuel TOPPS-Prowadis (2014) est un catalogue clairement décrit et bien documenté de mesures appliquées dans les pays voisins. L'évaluation des mesures présentée au tableau 1 repose sur le savoir d'experts et a été vérifiée auprès d'experts chevronnés de différents services cantonaux. Elle indique la moyenne suisse; il se peut qu'il y ait des différences plus ou moins importantes dans certains cantons. Il existe parfois des écarts importants entre la Suisse romande et la Suisse alémanique en ce qui concerne l'acceptation des mesures et les progrès de la mise en œuvre.

Concernant le niveau de la recherche et des connaissances, la Suisse possède suffisamment de connaissances pour la plupart des mesures, c'est-à-dire de publications scientifiques sur le mode d'action et l'efficacité. Concernant les applications des mesures dans la pratique, force est de constater que des améliorations sont encore possibles. Par ailleurs, certaines mesures ne sont pas vraiment adaptées à l'agriculture suisse, caractérisée par des parcelles de petite taille, un relief très découpé, etc. (p. ex. exploitation parallèlement aux courbes de niveau, élargissement du chaintre, zone tampon au fond d'un talweg).

Seules quelques mesures sont très bien acceptées par de vastes secteurs de l'agriculture, car beaucoup représentent un surcroît de travail ou des coûts supplémentaires. Les mesures qui réduisent la surface de production (p. ex. bandes tampons sur la parcelle, mise en place de haies) ou qui impliquent une intervention dans la structure de l'exploitation (p. ex. choix des cultures et optimisation de la rotation), sont généralement assez mal acceptées.

En l'état actuel de l'application, les réglementations légales (p. ex. directives PER pour les bandes tampons, rotation contrôlée, couverture du sol) ou les programmes d'encouragement (p. ex. contributions à l'efficacité des ressources pour un travail du sol réduit) jouent un grand rôle. Même si certaines mesures sont très répandues, elles peuvent encore être améliorées. De nombreuses mesures ne sont appliquées que ponctuellement et de

grosses différences subsistent encore entre les régions. Le potentiel des mesures de réduction des apports de PPh dans les cours d'eau devrait montrer si la mesure concernée peut être utilisée pour lutter contre la pollution des eaux dans toute la Suisse. L'évaluation se fait indépendamment du fait que la mesure ne soit pas encore utilisée ou qu'elle soit déjà très répandue. Elle représente ainsi le potentiel global. Chaque mesure peut avoir un très gros potentiel de réduction dans une situation donnée. Si une mesure ne se limite qu'à certaines situations (sites, cultures, parts des surfaces), son intérêt est moindre pour l'ensemble de la Suisse. Comme les mesures relatives à l'intensité du travail du sol, à la préparation du lit de semences et à la prévention du compactage du sol affectent presque toutes les terres cultivées, c'est là que le potentiel de réduction le plus important est à prévoir. Toutefois, réduire l'intensité de travail du sol ne devrait pas pour autant signifier augmenter l'emploi des PPh.

La couverture végétale des sols en hiver est également une mesure de protection contre l'érosion très répandue et efficace, mais elle ne tombe pas pendant la période d'application des PPh. C'est pourquoi elle a peu d'importance pour la réduction des apports de PPh. Elle peut néanmoins contribuer indirectement à réduire l'érosion et le ruissellement grâce à ses effets sur la substance organique et la structure du sol.

Discussion et conclusions

L'évaluation qualitative des mesures visant à réduire les apports de PPh dans les cours d'eau dus à l'érosion et au ruissellement ne peut donner qu'un premier aperçu grossier de la situation en Suisse. En fin de compte, ce sont les facteurs propres au site et le mode d'application de chaque mesure qui déterminent quelle mesure ou quelle série de mesures convient le mieux. Toutefois en Suisse, les facteurs liés au site sont très variés, c'est pourquoi il n'est possible de se prononcer concrètement qu'à l'échelle de la parcelle.

Généralement, les surfaces qui ont tendance à l'écoulement de surface en raison d'un excès d'infiltration ou de l'érosion du sol et qui sont attenantes à des cours d'eau sont plus faciles à identifier (au moyen de CRE2 et de GAK2). De nombreuses mesures de réduction conviennent pour ce type de surfaces. C'est aussi pourquoi les plus grandes avancées y ont été faites dans le domaine de l'exécution et de la mise en œuvre. Les surfaces qui ont tendance à un écoulement de surface saturé ou qui sont drainées sont plus difficiles à identifier; les processus sont moins connus et les mesures de

réduction appropriées sont moins nombreuses. Des recherches sont encore nécessaires dans ces domaines. On y constate également un déficit en matière d'exécution. Des carences en matière de recherche et d'exécution sont particulièrement sensibles en cas de connectivité indirecte aux cours d'eau (drainages compris) et en cas de court-circuit. Selon GAK2, 32 % des surfaces agricoles de la zone de plaine et de colline ont une connectivité indirecte à un cours d'eau et seulement 16 % une connectivité directe (Prasuhn *et al.* 2014). Les drainages n'ont toutefois pas encore été pris en compte. Ils augmenteraient le pourcentage des surfaces indirectement connectées.

Beaucoup des mesures proposées ont déjà été reprises par des réglementations et sont encouragées par des programmes spéciaux. L'Ordonnance sur les paiements directs, notamment le nouveau règlement sur l'érosion (2017), les directives PER, les programmes de soutien comme les contributions à l'efficacité des ressources ainsi que les programmes de protection des eaux et d'utilisation durable des ressources selon la Loi sur la protection des eaux, art. 62a et la Loi sur l'agriculture, art. 77a, b constituent une base pour les mesures. Les deux projets PPh dans le canton de Berne et dans le Leimental (BL) ont pour but de fournir des expériences pratiques quant à l'application des mesures de réduction et d'élargir les expériences réunies jusqu'ici grâce au projet du Boiron de Morges (Noll *et al.* 2010).

Bibliographie

- Alix A., Brown C., Capri E., Goerlitz G., Golla B., Knauer K., Laabs V., Mackay N., Marchis A., Poulsen V., Alonso Prados E., Reinert W., Strelake M., 2017. Mitigating the Risks of Plant Protection Products in the Environment: MAGPIE. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC). Accès: <https://www.setac.org/store/ViewProduct.aspx?id=9006489> [7.11.17].
- Agridea, 2017. Outil plan de mesures érosion. Version 2017. Agridea, Lindau, 9 p.
- Braun C., Gälli R., Leu C., Munz N., Schindler Wildhaber Y., Strahm I. & Wittmer I., 2015. Micropolluants dans les cours d'eau provenant d'apports diffus. Analyse de la situation. *Etat de l'Environnement* 1514, Office fédéral de l'environnement, Berne, 80 p.
- Bühler L. & Daniel O., 2017. Pflanzenschutzmitteleintrag in Oberflächengewässer: Analyse und Reduktionsmassnahmen auf Ebene Betrieb. Etude dans le cadre de Win⁴, financée par l'Office de l'environnement, OFEV, Berne, 15.12.2013. *Agroscope Science* 51, 1–49.
- Conseil fédéral, 2017. Plan d'action visant à la réduction des risques et à l'utilisation durable des produits phytosanitaires. Confédération suisse, Berne. Accès: <https://www.blw.admin.ch/blw/de/home/nachhaltige-produktion/pflanzenschutz/aktionsplan.html> [6.11.17].
- Doppler T., Mangold S., Wittmer I., Spycher S., Comte R., Stamm C., Singer H., Junghans M., Kunz M., 2017. Forte pollution des ruisseaux suisses par les pesticides. *Aqua & Gas* 12, 42–52.
- Hanke I., Poiger T., Aldrich A.P. & Balmer E., 2014. Application de produits phytosanitaires – Mesures de réduction du risque lié au ruissellement. *Recherche Agronomique Suisse* 5, 180–187.

La compilation du tableau 1 montre qu'il existe tout un lot de mesures visant à réduire l'érosion et le ruissellement, dont l'efficacité, lorsqu'elles sont appliquées au bon endroit, est prouvée. Nombre d'entre elles sont adaptées à la pratique et aux conditions propres à la Suisse. Quelques-unes de ces mesures sont parfaitement aptes à réduire les apports de PPh dans les cours d'eau. Toutefois, quelles que soient les mesures, l'application en Suisse peut encore être améliorée. Cela tient à des causes complexes, comme les déficits d'information, les préoccupations économiques, les aspects sociaux, l'esthétique, la tradition, etc. Il est important de faire prendre conscience de la problématique aux agriculteurs et aux agricultrices et de les sensibiliser en leur proposant du conseil, de la formation, des visites sur le terrain ou des cours. Du matériel d'information adapté comme des fiches techniques, des aides à la pratique ou des outils informatiques doit être mis à disposition du public. Enfin, les nouvelles mesures et les techniques novatrices devraient être encouragées. Des ajustements techniques pour améliorer et développer les mesures sont toujours possibles et certaines sont déjà en cours d'élaboration (p.ex. outil pour faire des micro-barrages entre les buttes et Dyker dans les cultures de pommes de terre). Les nouvelles mesures nécessitent toutefois encore des recherches afin de vérifier leur efficacité et leur adaptation à la pratique. ■

- Munz N., Leu C. & Wittmer I., 2012. Pestizidmessungen in Fließgewässern – Schweizweite Auswertung. *Aqua & Gas* 11, 32–41.
- Noll D., Dakhel N. & Burgos S., 2010. Appréciation des risques de transfert de pesticides par écoulement de surface. *Recherche Agronomique Suisse* 1, 110–117.
- OFAG & OFEV, 2016. «Cahier de fiches techniques: Erosion – réduire les risques» de la thèse de Master «Appréciation du risque d'érosion des sols agricoles et proposition de mesures de lutte» à la Haute-école du Nord-Ouest de la Suisse, Ecole supérieure des sciences de la vie, Muttenz, de Sébastien Gassmann, 14 septembre 2010.
- Prasuhn V., Alder S., Liniger H. P. & Herweg K., 2014. Hoch aufgelöste Erosionsrisiko- und Gewässeranschlusskarten als Hilfsmittel für den Vollzug. 4. Umweltökologisches Symposium, Raumberg-Gumpenstein, 75–80.
- Reichenberger S., Bach M., Skitschak A. & Frede H.-G., 2007. Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground and surface water and their effectiveness; A review. *Sci. Total Environ.* 384, 1–35.
- TOPPS-Prowadis (2014). Gute fachliche Praxis zur Verringerung der Gewässerbelastung mit Pflanzenschutzmitteln durch Run-off und Erosion. Handbuch, 81 p. Accès: <http://www.topps-life.org/key-documents.html> [7.11.17].
- Wittmer I., Moschet C., Simovic J., Singer H., Stamm C., Hollender J., Junghans M. & Leu C., 2014. Plus de 100 pesticides dans les cours d'eau. *Aqua & Gas* 11, 68–79.

Riassunto**Ridurre le immissioni di prodotti fitosanitari dovute all'erosione e al dilavamento**

Molti ruscelli svizzeri presentano elevate concentrazioni di prodotti fitosanitari (PF). L'erosione e il dilavamento sono, a tal proposito, importanti vie di contaminazione. Questo articolo offre una panoramica riguardo alle misure per la riduzione delle immissioni nei corsi d'acqua di PF provenienti da superfici campicole tramite l'erosione, il dilavamento e il drenaggio. Inoltre fornisce una valutazione qualitativa, effettuata da esperti, di queste misure per quanto riguarda lo stato della ricerca, l'idoneità nella pratica, l'accettazione, lo stato dell'applicazione e il potenziale di riduzione. L'efficacia di molte misure è scientificamente provata, come peraltro la loro idoneità nella pratica. Vi è invece un buon margine di miglioramento riguardo all'accettazione delle misure da parte degli agricoltori e in particolare alla loro applicazione. Molte delle misure hanno un grande potenziale per la riduzione delle immissioni di PF a livello locale, eppure soltanto poche possono essere realizzate su tutto il territorio svizzero. A causa della significativa variazione dei fattori legati all'ubicazione in Svizzera occorre quindi intraprendere misure per la riduzione adattate alla regione e al sito.

Summary**Reducing PPP inputs due to erosion and runoff**

Many Swiss streams exhibit high levels of plant-protection product (PPP) inputs, with erosion and runoff being important entry paths. This article furnishes an overview of measures for reducing PPP inputs into bodies of water from arable land due to erosion, runoff and drainage, and provides an expert-based qualitative evaluation of these measures in terms of state of research, practical feasibility, acceptance, progress with implementation, and potential for reduction. The effectiveness of many measures is scientifically proven, and practical feasibility is also given in many cases. There is significant room for improvement in terms acceptance of the measures by farmers, and regarding implementation in particular. Whereas many of the measures have great potential for reducing PPP inputs in a specific location, only a few show potential for nationwide implementation. Consequently, the large variation in site factors across Switzerland means that reduction measures must be taken regionally and be adapted to the site in question.

Key words: plant protection products, erosion, surface runoff, water protection, mitigation measures.