

Flux plastiques dans l'agriculture suisse et risques potentiels pour les sols

Andreas Kalberer¹, Delphine Kawecki-Wenger² et Thomas D. Bucheli¹

¹Agroscope, 8046 Zurich, Suisse

²Laboratoire fédéral d'essai des matériaux Empa, 9014 Saint-Gall, Suisse

Renseignements: Thomas D. Bucheli, e-mail: thomas.bucheli@agroscope.admin.ch



Figure 1 | L'agriculture suisse utilise divers produits en plastique, allant des films pour balles d'ensilage (à gauche) aux films de paillage, en passant par les filets de support (à droite).

(Photos: Andreas Kalberer, Agroscope)

Introduction

En principe, on distingue deux types d'intrants plastiques dans les sols agricoles: les intrants primaires et les intrants secondaires. Dans le cas d'un intrant primaire, les produits plastiques sont employés intentionnellement dans un but défini. On s'accommode alors d'un certain apport en plastique. Les filets de protection contre les oiseaux ou les films pour balles d'ensilage en sont des exemples (fig. 1). Il s'agit principalement de produits en polyéthylène (PE) (Kalberer *et al.* 2019). Dans le cas d'un intrant se-

condaire, le plastique n'est pas souhaitable et n'est d'aucune utilité pour l'agriculture. C'est le cas, par exemple, des déchets plastiques abandonnés dans la nature ou de la contamination par du plastique des engrais à base de digestat ou de compost. Des efforts visant à réduire ces substances étrangères sont actuellement en cours (Henle 2019). Selon les approximations de Nizzetto *et al.* (2016), la pollution plastique annuelle des surfaces agricoles européennes pourrait dépasser celle des océans.

Par analogie avec des estimations européennes (divers auteurs, cités dans Kalberer *et al.* 2019), l'agriculture suisse contribue à hauteur de 2–4 % à la demande nationale de plastique. Kawecki *et al.* (2018) estiment la quantité annuelle de plastique utilisée dans l'agriculture suisse à 19 507 tonnes ($t a^{-1}$). À ce jour, la Suisse dispose essentiellement de données sur les apports en plastique dans le sol dus aux engrais à base de digestat et de compost (Schleiss 2017). Les enquêtes quantitatives sur l'utilisation des différents produits plastiques dans l'agriculture et sur l'introduction de ces produits dans le sol font totalement défaut, à l'exception de l'étude récemment publiée par Kawecki et Nowack (2019).

Le présent article constitue la synthèse de l'étude Agroscope «Plastiques dans l'agriculture. État des connaissances et recommandations d'action pour la recherche agronomique, la pratique, l'industrie et les autorités» (Kalberer *et al.* 2019). Le but est de résumer les informations sur les flux de matières plastiques et la charge critique en plastique dans les surfaces agricoles utiles en Suisse et de les soumettre une première fois à une évaluation des risques. Des recommandations sont également formulées quant à la gestion et l'utilisation des plastiques dans l'agriculture.

Matériel et méthode

L'analyse des flux de matières (fig. 2, tabl. 1) est basée sur des enquêtes d'experts et des informations sur les produits (Kalberer *et al.* 2019). La figure 2 énumère certains groupes de produits plastiques (fond jaune) sur la gauche. Les quantités de ces produits sont indiquées en t par an (flèches grises à gauche). La partie droite de la figure (sur fond vert) montre les différentes cultures, regroupées en catégories (catégories de cultures), pour lesquelles les produits sont utilisés. Le flux plastique en t par an depuis les sources vers les catégories de cultures est signalé par des flèches de différentes couleurs. Une partie de cette quantité de plastique est ensuite éliminée de la catégorie de culture concernée et, si nécessaire, recyclée ou incinérée (flèches grises sur la droite). La quantité de plastique restant dans la catégorie de culture est définie comme apport de plastique dans le sol et est indiquée en t dans la case de la catégorie de culture correspondante comme accumulation annuelle de plastique (case verte). Les valeurs indiquées ne doivent pas être considérées comme des valeurs effectives, mais comme des estimations, qui donnent un ordre de grandeur. D'autres voies d'apport qualifiées de plutôt insignifiantes et exclues ici sont énumérées dans Kalberer *et al.* (2019). La concentration prévisible dans

Résumé

Les produits plastiques sont omniprésents dans notre vie quotidienne et sont devenus indispensables dans l'agriculture moderne, où ils sont des auxiliaires polyvalents et efficaces. Quand il se retrouvent sous forme de déchets sauvages abandonnés dans la nature et de substances étrangères présentes dans les engrais issus de digestat et de compost, ils sont aussi les principales sources des apports de plastiques dans la surface agricole utile. À partir d'une analyse des flux de matières, cette étude estime à 16 000 tonnes la quantité de plastique introduite chaque année dans les terres agricoles en Suisse. Sur ce volume, environ 160 tonnes de plastique restent dans le sol chaque année, ce qui, au fil des ans, peut conduire à une concentration maximale de $0,02 \pm 0,01 \%$ ($200 \pm 100 \text{ mg kg}^{-1}$). Les quelques études écotoxicologiques disponibles à ce jour décrivent des effets sur les organismes du sol à partir d'une teneur en plastique de 0,1 %. Selon l'état actuel des connaissances, il n'y a donc aucun risque pour les organismes du sol en Suisse. Toutefois, une évaluation plus rigoureuse des risques nécessite des études approfondies sur l'exposition des plastiques et leurs effets dans l'environnement agricole. Comme la présence des produits plastiques agricoles n'est généralement pas souhaitable dans le sol et que leur dégradation est très lente, nous recommandons d'optimiser davantage leur utilisation et de réduire le plus possible la teneur en substances étrangères dans les engrais issus de digestat et de compost afin de minimiser les intrants.

l'environnement (*Predicted Environmental Concentration* PEC) – calculée afin d'évaluer les risques pour les sols est fondée sur le scénario le plus pessimiste, avec des apports maximaux estimés sur plusieurs années, issus des sources les plus importantes (Kalberer *et al.* 2019; tabl. 2). Cette PEC est comparée aux études sur les effets disponibles dans la littérature et à leurs concentrations prévues sans effet¹ (PNEC) provenant d'expériences contrôlées en laboratoire sur des sols contaminés par du plastique (tabl. 3) afin d'estimer un risque possible pour les organismes du sol.

¹Concentration prévue d'une substance jusqu'à laquelle il n'y a aucun effet sur l'organisme testé.

Résultats et discussion

Analyse des flux de matières

Selon les estimations, 16 000 ± 1300 tonnes de plastique sont épandues chaque année sur les surfaces agricoles utiles en Suisse. Ce résultat est comparable aux 19 507 t a⁻¹ que Kawecki *et al.* (2018) ont calculées pour la Suisse. Selon les hypothèses expliquées ci-dessous, seule une faible proportion (environ 1 %) reste dans le sol sous forme d'intrant plastique.

Le tableau 1 montre la quantité épandue par produit plastique ainsi que leur apport dans les sols en valeur absolue et par rapport à la surface. Comme l'utilisation de certains produits plastiques est limitée à certaines

catégories de cultures avec des superficies définies et parfois réduites, les intrants absolus et relatifs peuvent différer considérablement.

Avec 80 ± 30 tonnes de plastique épandues par an, les déchets sauvages abandonnés dans la nature sont responsables de l'apport le plus important en valeur absolue sur les surfaces agricoles utiles en Suisse. Toutefois, l'intrant moyen rapporté à la surface s'élève à 80 ± 30 g ha⁻¹ a⁻¹, ce qui est inférieur à celui estimé pour d'autres sources (p.ex. les films de paillage en PE: 2000 ± 2000 g ha⁻¹ a⁻¹). Avec une quantité estimée à 50 ± 7 tonnes par an, les engrais à base de digestat et de compost font également partie des intrants les plus importants en valeur absolue. Comme ce type d'engrais est épandu sur des

Tableau 1 | Principaux produits agricoles en plastique, quantités annuelles appliquées et taux d'émission estimés avec les apports dans les sols en valeur absolue et par rapport à la surface.

Produit plastique	Quantité épandue (t a ⁻¹)	Taux d'émission (%) ^a	Apport attendu en valeur absolue dans les sols (t a ⁻¹) ^b	Apport dans les sols par rapport à la surface (g ha ⁻¹ a ⁻¹) ^c
Film pour balles d'ensilage	6000 ± 800	0,01–0,1 %	0,6–6	60 ± 50
Film pour serres/protection contre les intempéries	3000 ± 800	0,01–0,1 %	0,3–3	900 ± 800
Filet anti-grêle	2000 ± 600	0,01–0,1 %	0,2–2	200 ± 200
Filet de protection contre les oiseaux	1000 ± 300	0,01–0,1 %	0,1–1	100 ± 100
Non-tissé et film perforé	500 ± 100	0,1–1 %	0,5–5	1000 ± 900
Toiles de paillage	500 ± 100	0,01–0,1 %	0,05–0,5	600 ± 500
Irrigation goutte à goutte	400 ± 50	0,1–1 %	0,4–4	400 ± 400
Films de paillage en PE	300 ± 100	0,1–1 %	0,3–3	2000 ± 2000
Liants en matière synthétique non biodégradables etc.	300 ± 80	1–10 %	3–30	1000 ± 1000
Filets de protection contre les insectes	300 ± 90	0,01–0,1 %	0,03–0,3	100 ± 100
Filets d'ombrage	300 ± 100	0,01–0,1 %	0,03–0,3	800 ± 700
Liens pour balles de paille	200 ± 50	0,1–1 %	0,2–2	10 ± 9
Tube protecteur	200 ± 60	0,01–0,1 %	0,02–0,2	200 ± 200
Films pour tunnel	100 ± 50	0,01–0,1 %	0,01–0,1	500 ± 500
Filets de protection climatique	100 ± 40	0,01–0,1 %	0,01–0,1	200 ± 200
Films de paille bio	80 ± 30	0,1–1 %	0,08–0,8	800 ± 700
Plastique dû aux déchets sauvages	80 ± 30	100 %	80	80 ± 30
Plastique dans les engrais à base de digestat et de compost	50 ± 7	100 %	50	4000 ± 1000
Film isolant	40 ± 10	0,001–0,01 %	0,004–0,04	400 ± 300
Accessoires pour l'irrigation capillaire (répartiteur, spaghetti, bouchon)	30 ± 9	0,1–1 %	0,03–0,3	400 ± 400
Filets de support en plastique	6 ± 2	0,01–0,1 %	0,0006–0,006	40 ± 40
Films de sacs d'engrais	500 ± 60	–	–	–
Récipients de produits chimique	200 ± 30	–	–	–

^aPour plus d'explications sur les taux d'émission, voir Kalberer *et al.* (2019).

^bQuantité appliquée multipliée par le taux d'émission.

^cLes surfaces reposent sur les données de l'Office fédéral de la statistique (OFS) (https://www.pxweb.bfs.admin.ch/pxweb/de/px-x-0702000000_106/px-x-0702000000_106/px-x-0702000000_106.px). Les calculs s'appuient sur la médiane de l'intervalle d'apport. L'incertitude de l'estimation de l'intervalle prend comme hypothèse un CV_{intervalle} de 82 %. Ceci correspond à l'écart entre la médiane de l'intervalle et les valeurs extrêmes de l'intervalle.

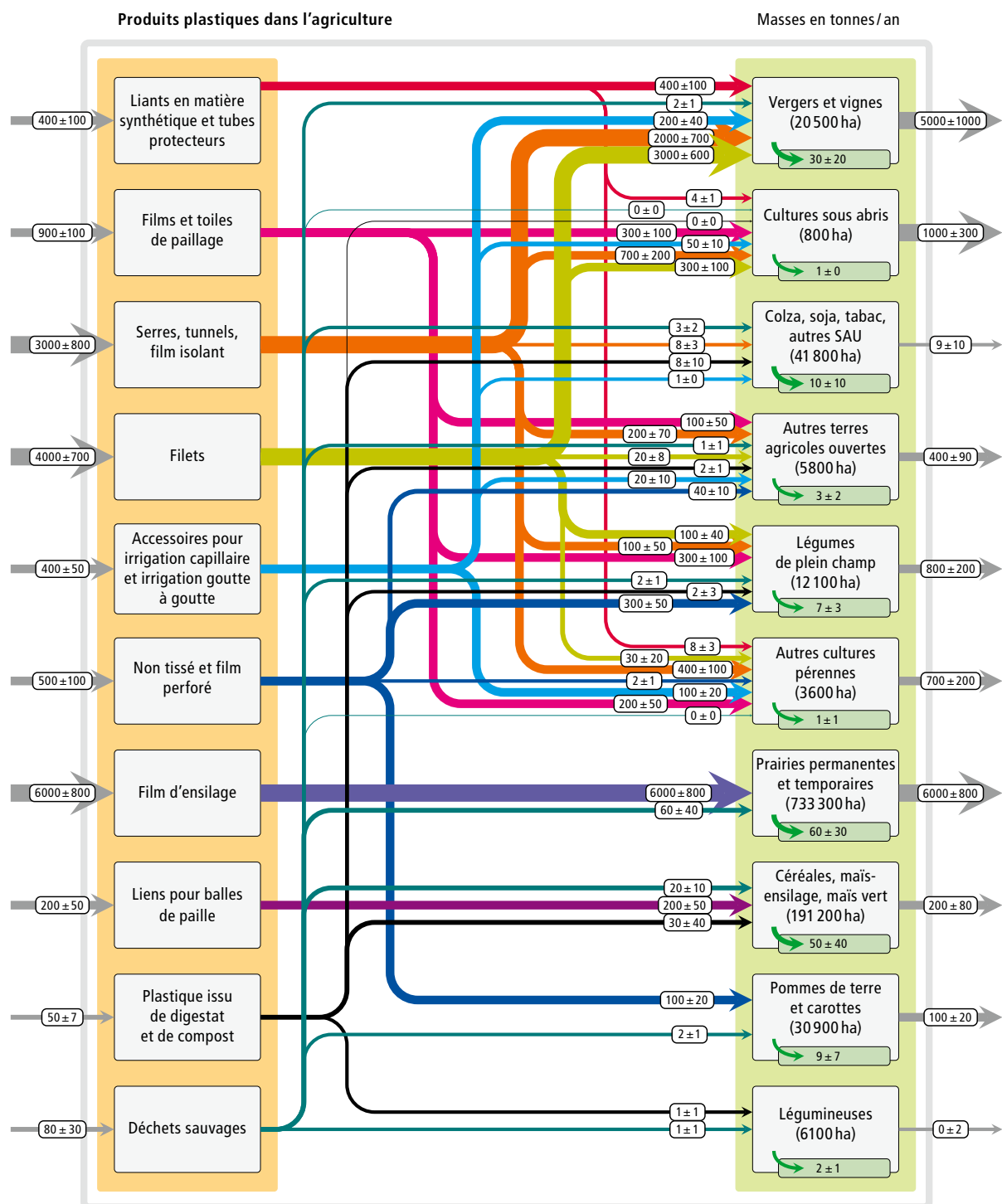


Figure 2 | Analyse des flux de matières des produits plastiques importants pour l'agriculture suisse. Les limites du système sont définies par la quantité de produits plastiques utilisés chaque année en Suisse jusqu'à ce qu'ils soient réutilisés l'année suivante ou éliminés. Toutes les valeurs sont indiquées avec un écart-type (\pm). Des valeurs négatives ne sont pas possibles. De gauche à droite, l'analyse du flux de matières est structurée comme suit: le flux d'intrants (flèche grise à gauche) décrit la quantité de plastique épandue provenant de différentes sources en $t a^{-1}$. La répartition entre les différentes catégories de cultures est représentée par des flèches de différentes couleurs qui partent des sources (en $t a^{-1}$). L'accumulation (case verte à l'intérieur de la catégorie de culture) décrit les quantités de plastique qui demeurent chaque année dans les catégories de culture respectives en t (intrants). Les quantités restantes de plastique sont retirées de la catégorie de culture sous la forme d'un flux d'exportation ($t a^{-1}$) (flèche grise à droite) et, selon le produit, valorisées thermiquement, recyclées ou réutilisées. Comme les valeurs des différents flux de matières sont arrondies, leurs totaux ne correspondent pas forcément aux valeurs totales indiquées. Ceci s'applique en particulier à la somme de plusieurs flux importants de matières (voir exemples des vergers et des vignes).

surfaces moins importantes que les déchets sauvages par exemple, les apports peuvent être localement plus élevés ($4000 \pm 1000 \text{ g ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$).

Parmi les produits à base de films, les films pour balles d'ensilage ($6000 \pm 800 \text{ t a}^{-1}$), les films pour serres/pour la protection contre les intempéries ($3000 \pm 800 \text{ t a}^{-1}$), les toiles de paillage ($500 \pm 100 \text{ t a}^{-1}$) et les films de paillage en PE ($300 \pm 100 \text{ t a}^{-1}$) sont les produits les plus utilisés en termes de quantité (fig. 2, tabl. 1). Par rapport aux films de balles d'ensilage et aux films pour serre/pour la protection contre les intempéries, les films de paillage sont plus exposés aux intempéries, au sol, aux divers produits phytosanitaires et aux traitements mécaniques et ont tendance à se décomposer, ce qui entraîne un taux de pénétration (estimé) plus élevé dans les sols (tabl. 1). D'autres sources potentielles d'apport en plastique, telles que l'apport par les voies aériennes ($0,4 \pm 0,2 \text{ t a}^{-1}$), par l'eau pour l'irrigation ($0,08 \pm 0,01 \text{ t a}^{-1}$) et par les engrais et pesticides, ne sont responsables que d'apports négligeables selon les calculs. Les apports par le ruissellement de surface depuis les routes jusqu'aux surfaces agricoles utiles, par les récipients de produits chimiques et les sacs d'engrais (tabl. 1) ont été exclus de l'analyse des flux de matières en raison de la part relativement réduite des superficies touchées, des petites quantités, de la courte durée d'utilisation et des difficultés d'affectation aux cultures correspondantes (Kalberer *et al.* 2019). Les apports estimés de plastiques dans les sols agricoles (tabl. 1) sont cinq fois moins importants que les charges annuelles de macroplastiques issues de l'agriculture (environ 800t) indiquées par Kawecki et Nowack (2019). Cette différence est due à des hypothèses différentes pour déterminer les taux d'émission. Alors que la pré-

Tableau 2 | Sources contribuant aux apports de plastiques dans les sols agricoles et PEC qui en résulte (hypothèse la plus pessimiste). En raison des arrondis, la quantité totale diffère légèrement de la somme des valeurs individuelles indiquées.

Source	Quantité absolue par hectare
Déchets sauvages	2 kg ha^{-1} (1950–2018)
Fumure à base de boues d'épuration	261 kg ha^{-1} (1970–2005)
Engrais à base de digestat et de compost	125 kg ha^{-1} (2006–2018)
Films de paillage en PE	146 kg ha^{-1} (1960–2018)
Total	534 kg ha^{-1}
PEC ^b (<i>Predicted Environmental Concentration</i>)	$0,02 \pm 0,01 \%$; $200 \pm 100 \text{ mg kg}^{-1}$

^aEn partant d'une surface agricole hypothétique qui connaît des apports plastiques provenant des différentes sources au cours des périodes indiquées entre parenthèses. Ces apports sont supposés inertes et immobiles.

^bPour une densité du sol de 1200 kg m^{-3} et une accumulation de plastique dans les 25 cm supérieurs du sol.

Tableau 3 | Compilation d'études existantes sur les effets des plastiques sur les organismes du sol (Kalberer *et al.* 2019). La PEC (*Predicted Environmental Concentration*, concentration supérieure d'un sol dont la densité est de 1200 kg m^{-3}).

Étude	Organismes terrestres étudiés	Différenciation des effets
Rillig <i>et al.</i> (2017)	Ver de terre commun <i>Lumbricus terrestris</i>	chroniques (p.ex. poids, reproduction)
		aigus (mortalité)
Zuh <i>et al.</i> (2018)	Espèce de collembole <i>Folsomia candida</i>	chroniques (p.ex. poids, reproduction)
		aigus (mortalité)
Rodríguez-Seijo <i>et al.</i> (2017)	Espèce de ver de terre <i>Eisenia andrei</i>	chroniques (p.ex. poids, reproduction)
		aigus (mortalité)
Rodríguez-Seijo <i>et al.</i> (2018)	Ver du fumier <i>Eisenia fetida</i>	chroniques (p.ex. poids, reproduction)
		aigus (mortalité)
Cao <i>et al.</i> (2017)	Ver du fumier <i>Eisenia fetida</i>	chroniques (p.ex. poids, reproduction)
		aigus (mortalité)
Kokalj <i>et al.</i> (2018)	Cloporte <i>Porcellio scaber</i>	chroniques (p.ex. poids, reproduction)
		aigus (mortalité)
Qi <i>et al.</i> (2018)	Blé panifiable <i>Triticum aestivum</i>	chroniques (p.ex. poids, reproduction)
		aigus (mortalité)
Huerta Lwanga <i>et al.</i> (2016)	Ver de terre commun <i>Lumbricus terrestris</i>	chroniques (p.ex. poids, reproduction)
		aigus (mortalité)
Sforzini <i>et al.</i> (2016)	Espèce de myxomycète <i>D. discoideum</i>	chroniques (p.ex. poids, reproduction)
		aigus (mortalité)
Sforzini <i>et al.</i> (2016)	Pois <i>S. saccharatum</i> , cresson de jardin <i>L. sativum</i> , espèce de ver de terre <i>E. andrei</i>	chroniques (p.ex. poids, reproduction)
		aigus (mortalité)

Stabilité

P: Persistant

A: Dégradable

Contient des additifs

J: oui

N: non

Résultats des études

■ Différence négative significative à contrôler

■ Aucune différence négative significative à contrôler

sente étude se fonde sur des avis d'experts locaux et détermine un facteur spécifique pour chaque produit, Kawecki et Nowack (2019) se réfèrent à une étude française qui utilise des taux d'émission compris entre 2 et 9 %.

Dans le cas des engrais à base de digestat et de compost, la teneur en matière plastique varie en fonction de la matière première et des méthodes de traitement utilisées. Selon Biomasse Suisse, les impuretés qui ne sont pas triées correctement dans la collecte des déchets biogènes privés sont particulièrement problématiques. Une autre voie par laquelle le plastique peut s'introduire

ismes terrestres. Toutes les études connues des auteurs qui contiennent des relations dose-réaction ont été prises en compte (références bibliographiques) (concentration prévisible dans l'environnement) déduite dans le texte est incluse afin de permettre l'évaluation des risques et fait référence aux 25 cm de l'horizon.

Concentration (w/w)																Caractéristiques pratiques			
0,006%	0,013%	0,02% ± 0,01%	0,025%	0,03%	0,05%	0,1%	0,25%	0,4%	0,5%	1%	1,25%	2%	7% (1% vol)	28% (5% vol)	45% (10% vol)	60% (15% vol)	Dégradabilité	Additifs	
		PEC		Green													P	N	
							Red											P	J
Green	Green			Green		Green	Green											P	J
Green	Green			Green		Green	Green											P	J
Green	Green			Green		Green	Green											P	J
								Green		Green	Red		Red					P	J
									Green	Red	Green							P	J
																		P, A	J
														Green	Red	Red	Red	P	J
												Red						A	J
												Green						A	J

dans les engrais à base de digestat et de compost est celle des rebuts provenant du commerce de détail. Dans le cas des films de paillage, on constate qu'une proportion croissante est remplacée par des films dégradables. Toutefois, la décomposition réelle de ces produits doit être vérifiée. En comparaison avec la plupart des pays, la Suisse n'enregistre aucun apport issu de décharges publiques ou de boues d'épuration, dont l'épandage dans les champs est interdit depuis 2006 par l'Ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques (ORRChim). En Europe, l'apport annuel de microplastiques dans l'environnement dû à l'épandage

des boues d'épuration est estimé à 125–850 tonnes par million d'habitants (Nizzetto *et al.* 2016). En comparant ces charges et les hypothèses du tableau 2 à celles du tableau 1 et de la figure 2, on peut supposer que les boues d'épuration, lorsqu'elles sont effectivement épandues, constituent la source la plus importante d'intrants plastiques pour les terres agricoles.

Évaluation des risques

Les hypothèses les plus pessimistes concernant les intrants plastiques dans les terres agricoles présentées au tableau 2 indiquent une charge d'environ 534 kg ha⁻¹ sur

une période allant de 1950 à 2018. En supposant (1) une distribution homogène dans les 25 cm de l'horizon supérieur du sol (profondeur de labour), (2) une décomposition négligeable et (3) aucun transfert, cela correspond à une concentration prévisible dans l'environnement (PEC) de $0,02 \pm 0,01 \%$ (équivalent à $200 \pm 100 \text{ mg kg}^{-1}$, tabl. 2). La littérature sur les effets écotoxicologiques du plastique sur les organismes du sol les plus représentatifs, qui jusqu'à présent est très rare et exclusivement fondée sur des études en laboratoire – et devrait donc être considérée avec prudence – ne montre des effets significatifs qu'à partir de concentrations égales ou supérieures à 0,1 %. Jusqu'à 0,05 % de plastique, aucun effet ne peut être observé (tabl. 3). Par conséquent, la «concentration prévue sans effet (PNEC)» a été estimée à 0,05 %. Le quotient de risque (QR=PEC/PNEC) qui en résulte est de 0,4 et est donc inférieur à 1 (Kalberer *et al.* 2019). En d'autres termes, en l'état actuel des connaissances, les quantités maximales de plastique attendues sur les surfaces agricoles utiles en Suisse ne présentent aucun risque pour les organismes du sol.

Conclusions et perspectives

Les flux de matières plastiques de l'agriculture suisse décrits dans cette étude comprennent, outre les sources non intentionnelles, les produits plastiques agricoles les plus importants. Bien qu'aucun effet négatif n'ait été observé jusqu'à présent sur une petite sélection d'organismes du sol dans les études en laboratoire avec les concentrations maximales de matières plastiques auxquelles on peut s'attendre, il convient de continuer à se montrer vigilant quant à l'utilisation des plastiques sur les surfaces agricoles utiles, conformément au principe de précaution, et compte tenu des connaissances limitées à ce jour.

Nous partons du principe que l'utilisation des matières plastiques dans l'agriculture suisse va continuer d'augmenter. Bien que des sources importantes telles que les boues d'épuration utilisées pour la fertilisation aient été éliminées en Suisse et que des efforts considérables soient actuellement déployés pour développer des produits plastiques dégradables, d'autres sources importantes telles que les engrais à base de digestat et de compost doivent encore être optimisés.

La branche du compostage et de la méthanisation est consciente du problème et fait des efforts pour améliorer la situation. Ces efforts sont importants pour parvenir à séparer à long terme les quantités de plastique utilisées et leurs intrants persistants. Du côté de la recherche, il est capital de fournir des méthodes analytiques pour quantifier l'exposition effective des sols agricoles aux plastiques et de déterminer leurs effets sur d'autres organismes importants du sol dans des conditions plus proches de la pratique afin d'approfondir l'évaluation des risques. ■

Remerciements

Nous remercions Katja Knauer (Office fédéral de l'agriculture OFAG) et Corinne Jud (Agroscope) pour leur relecture et leurs précieux commentaires.

Riassunto**Flussi di plastica nell'agricoltura svizzera e loro potenziale di rischio per i suoli**

I prodotti plastici sono onnipresenti nel nostro quotidiano e difficilmente impensabili anche nell'agricoltura moderna, quali prodotti ausiliari versatili ed efficienti. Insieme all'abbandono dei rifiuti e come sostanze estranee nel digestato e nel compost, sono però anche la fonte principale di immissioni di plastica nelle superfici agricole utili. Servendosi di un'analisi dei flussi di sostanze, questo studio stima in 16 000 tonnellate la quantità di plastica che finisce annualmente nelle superfici agricole in Svizzera. Di queste, circa 160 tonnellate rimangono nel suolo ogni anno, che può portare nel corso degli anni a una concentrazione massima di fino allo $0,02 \pm 0,01 \%$ ($200 \pm 100 \text{ mg kg}^{-1}$). I pochi studi ecotossicologici finora disponibili rilevano effetti sugli organismi del suolo a partire da un tenore di plastica dello $0,1 \%$. In base alle conoscenze attuali non vi è pertanto alcun rischio per gli organismi del suolo in Svizzera. Una valutazione dei rischi più accurata richiede tuttavia ricerche più approfondite sull'esposizione e gli effetti della plastica nell'ambiente agricolo. Visto che quest'ultima è generalmente indesiderata nel suolo e la sua decomposizione avviene molto lentamente, per ridurre al minimo l'apporto si consiglia di ottimizzare ulteriormente l'uso di prodotti agricoli in plastica e di continuare a ridurre la percentuale di sostanze estranee presenti nel digestato e nel compost.

Summary**Plastic waste flows in Swiss agriculture and their risk potential for soils**

Plastic products are omnipresent in our everyday lives and are so versatile and efficient that it is difficult to imagine modern agriculture without them. However, in combination with littering and as foreign materials in digestate and compost fertilisers, they are also the main source of plastic inputs on agricultural land. Using material flow analysis, this study estimates the annual amount of plastic spread on agricultural land in Switzerland at 16,000 tonnes. Around 160 tonnes of this annual figure remains in the soil, which can lead to concentrations of up to $0.02 \pm 0.01 \%$ ($200 \pm 100 \text{ mg kg}^{-1}$) over the years. The few ecotoxicological studies available to date describe effects on soil organisms starting from a plastic content of 0.1% . On the basis of current knowledge, therefore, there is no risk to soil organisms in Switzerland. However, a more reliable risk assessment would require more in-depth studies on exposure and the effects of plastic in the agricultural environment. As plastic is generally undesirable in soil and degrades only very slowly, we recommend further refining the use of agricultural plastics and continuing to reduce the foreign material content of digestate and compost fertilisers in order to minimise plastic inputs.

Key words: plastic in Swiss agriculture, plastic contamination, mass flow analysis.

Bibliographie

- Henle C., 2019. Gemeinsam gegen Fremdstoffe. *Compostmagazine* 1/2019, 3–5.
- Kalberer A., Kawecki-Wenger D. & Bucheli T. D., 2019. Plastik in der Landwirtschaft. Stand des Wissens und Handlungsempfehlungen für die landwirtschaftliche Forschung, Praxis, Industrie und Behörden. Agroscope, Zurich, et Empa, Saint-Gall. *Agroscope Science* 89, 57 p. Accès: <https://ira.agroscope.ch/de-CH/publication/42595> [19.11.19].
- Kawecki D., Scheeder P. R. & Nowack B., 2018. Probabilistic Material Flow Analysis of Seven Commodity Plastics in Europe. *Environmental Science & Technology* 52 (17), 9874–9888.
- Kawecki D. & Nowack B., 2019. Polymer-Specific Modeling of the Environmental Emissions of Seven Commodity Plastics as Macro- and Microplastics. *Environmental Science & Technology* 53 (16), 9664–9676.
- Nizzetto L., Futter M. & Langaas S., 2016. Are agricultural soils dumps for microplastics of urban origin? *Environmental Science & Technology* 50 (20), 10777–10779.
- <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/eaux/publications/publications-eaux/protection-eaux-evacuation-eaux-voies-communication.html>
- ORRChim, 2005. Ordonnance du 18 mai 2005 sur la réduction des risques liés à l'utilisation de substances, de préparations et d'objets particulièrement dangereux (Ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques, ORRChim), Conseil fédéral, Berne. Accès: <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20021520/quotes.html> [31.05.2019].
- Schleiss K., 2017. Bericht zur Analyse von Fremdstoffen in Kompost und festem Gärgut der Kompostier- und Vergärungsanlagen in der Schweiz gemäss ChemRRV. UMWEKO GmbH, Grenchen. Accès: https://www.mpsecure.ch/cvis/public/pdf/2017-12-22_Bericht_Fremdstoffanalysen_Auftrag_BAFU.pdf [31.05.2019].