

Suivis pluriannuels des transferts verticaux de pesticides dans des sols de vallée alluviale en monoculture de maïs irriguée

Agnan Yannick (1), Alletto Lionel (2), Boithias Laurie (3), Budzinski Hélène (4), Giuliano Simon (5), Deswarte Cyrielle (5), Pelletier Aude (1)

(1) Chambre d'Agriculture de l'Ariège, Villeneuve-du-Paréage, France – yannick.agnan@biogeochimie.fr, aude.pelletier@ariege.chambagri.fr

(2) Chambre Régionale d'Agriculture d'Occitanie, Castanet-Tolosan, France – lionel.alletto@occitanie.chambagri.fr

(3) GET, Université de Toulouse, CNRS, IRD, UPS, Toulouse, France – laurie.boithias@get.omp.eu

(4) EPOC, Université de Bordeaux, CNRS, EPHE, Talence, France – helene.budzinski@u-bordeaux.fr

(5) AGIR, Université de Toulouse, INRA, INPT, INP-PURPAN, Castanet-Tolosan, France – simon.giuliano@purpan.fr, cyrielle.deswarte@purpan.fr

La culture de maïs représente un tiers de la surface cultivée dans le département de l'Ariège, soit près de 8 000 ha, sous forme de maïs grain (14 %), maïs semence (12 %) et maïs ensilage (6 %). Le contrôle chimique de ses bioagresseurs nécessite l'application de pesticides (herbicides, insecticides, fongicides et molluscicides) variable selon la pression de l'année et le type de production (grain, fourrage ou semence). Ceci contribue à la dispersion de substances actives dans l'air, le sol et les eaux naturelles (Lopez *et al.*, 2015 ; Mauffret *et al.*, 2017). Afin de limiter la présence de ces composés dans l'environnement, une réduction des quantités appliquées peut être obtenue par la mise en œuvre de techniques telles que la localisation des traitements sur les lignes de semis accompagnée d'une gestion mécanique des inter-rangs, ou encore par la réduction des doses (à travers une optimisation technique des pulvérisations par exemple). En complément, d'autres pratiques peuvent permettre de limiter la dissipation des pesticides en augmentant les capacités de rétention et de dégradation des sols, par exemple par des amendements organiques (Majumdar et Singh, 2007 ; Fenoll *et al.*, 2014) ou par une réduction du travail du sol afin de maintenir un mulch et la matière organique à la surface du sol (Aslam *et al.*, 2018), et ainsi dynamiser l'activité biologique des sols (Lal, 2015 ; Parihar *et al.*, 2016 ; 2018). L'objectif de cette étude est d'évaluer l'influence de ces pratiques culturales innovantes sur les quantités et le devenir des pesticides dans les sols agricoles de la plaine alluviale de l'Ariège à partir de mesures *in situ* dans la solution du sol.

Pour ce faire, six sites d'études sur sols limono-sableux localisés dans la plaine alluviale de l'Ariège (nord du département de l'Ariège) ont été étudiés pendant quatre années consécutives (2015–2018) : deux en culture de maïs grain et quatre en culture de maïs semence. Sur chaque site, une modalité de référence (MM-REF) a été comparée à deux (maïs grain) ou une (maïs semence) modalités expérimentales afin de tester des leviers d'atténuation des risques de transfert de solutés : une modalité sans labour (MM-NL) et une modalité sans labour avec ajout de matière organique (MM-NLMO) pour les cultures de maïs grain et une modalité avec application localisée d'herbicides sur les rangs de maïs afin de réduire de moitié la dose

appliquée pour répondre aux objectifs du plan Ecophyto 2025 (MM-2025) pour les cultures de maïs semence. Pour chaque modalité de 1 ha environ, trois groupes de cinq bougies poreuses en céramique à 50 cm de profondeur ont été répartis spatialement afin de collecter la solution du sol. Un prélèvement au pas de temps mensuel pendant la période culturale a été réalisé, ainsi qu'en période d'interculture entre 2017 et 2018, en ciblant l'ensemble des molécules appliquées (16 herbicides, 6 fongicides, 3 insecticides, 1 molluscicide, 3 métabolites [ESA, OXA et AMPA] et 3 phytoprotecteurs). Au total, 488 échantillons ont été collectés puis analysés par La Drôme Laboratoire.

Les concentrations en pesticides mesurées dans la solution du sol sur l'ensemble des campagnes culturales montrent une gamme très étendue, tant au sein de chaque molécule (facteur moyen >4 000 entre la concentration la plus élevée et la concentration la plus faible) qu'entre les molécules appliquées (facteur >1 000 entre la médiane la plus élevée et la médiane la plus faible) pour des gammes de doses appliquées allant de 1,34 à 1 217 g/ha par molécule (Figure 1). Vingt pesticides analysés présentent des concentrations inférieures à la limite de quantification dans plus de la moitié des données. Par ailleurs, cinq pesticides montrent des concentrations pouvant atteindre ponctuellement des valeurs >10 µg·L⁻¹ (S-métolachlore, mésotrione, azoxystrobine, bentazone et nicosulfuron). Comparés à une étude réalisée de 2006 à 2014 dans les sols agricoles d'Alsace (Koller *et al.*, 2018), les résultats de la présente étude montrent des concentrations supérieures pour la plupart des molécules. L'observation de tels écarts peut résulter de plusieurs facteurs identifiés : différents types de cultures (monocultures vs rotations de cultures), différents dispositifs de bougies poreuses utilisés (implantation verticale à 50 cm de profondeur vs implantation horizontale à 100–120 cm de profondeur), différentes périodes de prélèvements et différents types de sols. En revanche, les données du métaldéhyde et du diméthénamid-P sont relativement similaires entre les deux études. Les gammes de concentrations ne sont pas toujours liées aux doses appliquées : pour des doses similaires, la mésotrione présente des concentrations largement supérieures à celles de la cyperméthrine. Cette différence s'explique par la solubilité supérieure de la mésotrione favorisant sa mobilisation dans la phase aqueuse alors que la cyperméthrine se retrouve fortement adsorbée à la matière organique.

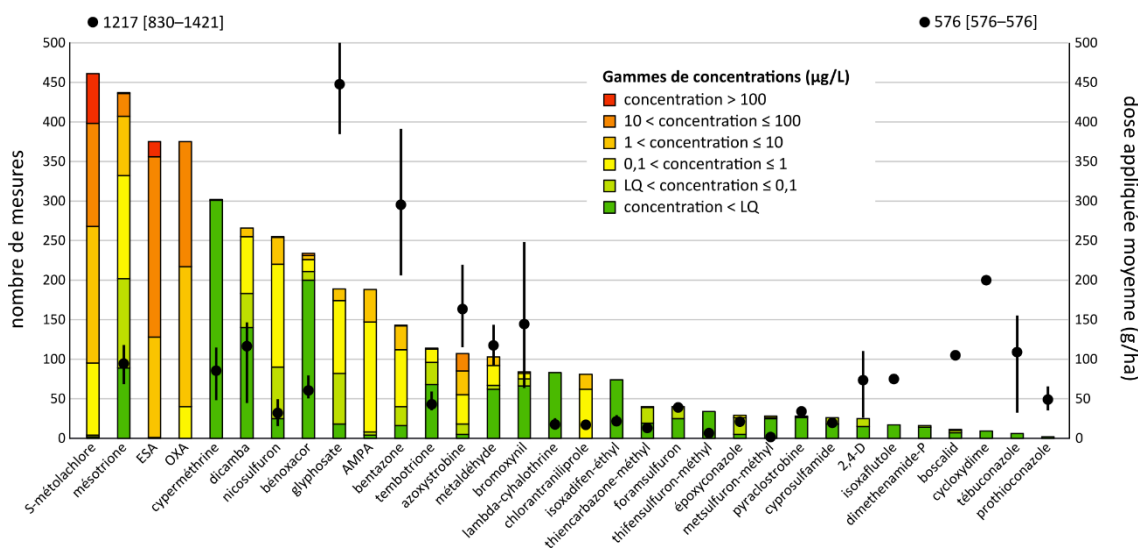


Figure 1 : Nombre de mesures en pesticides par gamme de concentrations (barres colorées) et dose moyenne annuellement appliquée par molécule (ronds noirs) incluant l'écart interquartile.

Pour la plupart des molécules, les concentrations sont largement dépendantes de la durée après dernier traitement, indiquant une dégradation des molécules mères en métabolites comme observé pour le S-métolachlore et le glyphosate et/ou de la dissipation des molécules (transfert vers les eaux de surfaces ou souterraines) avec le temps (*Figure 2*). Par ailleurs, les concentrations mesurées en période d'interculture (violet sur la *Figure 2*) et en début de culture avant application (>200 j) tendent à croître par rapport à celles de fin de culture (<150 j). Nous suggérons que, pendant la culture estivale, l'évapotranspiration maintient un flux d'eau ascendant limitant le flux descendant, et réduisant donc les fuites de solutés. En fin de cycle, le flux descendant devient dominant (période de recharge des nappes) et les solutés sont alors transférés, le couvert végétal implanté n'étant pas suffisamment développé pour contrebalancer ces mouvements.

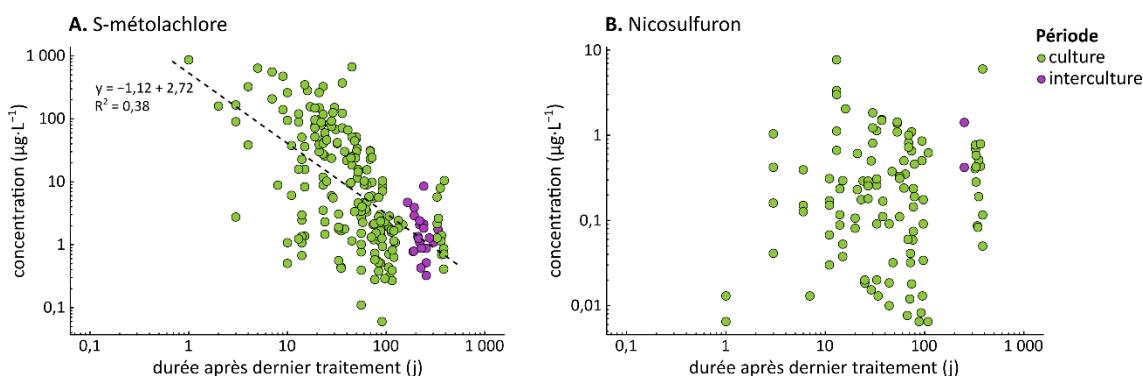


Figure 2 : Concentration en pesticide dans la solution de sol en fonction du nombre de jours après le dernier traitement : S-métolachlore (A) et nicosulfuron (B).

La comparaison directe des concentrations en pesticides mesurées dans la solution du sol n'a pas permis d'observer d'influence des pratiques culturales testées. Les régressions linéaires multiples confirment cette observation. Par ailleurs, les concentrations sont sensiblement différentes entre les sites d'études, ce qui peut s'expliquer en partie par l'influence de variables environnementales (par exemple, liées aux paramètres physico-chimiques du sol). Des régressions des moindres carrés partiels ont permis de mettre en évidence des comportements opposés entre deux herbicides appliqués : le S-métolachlore et le nicosulfuron (*Figure 3*). Outre leur sensibilité à la durée après traitement, les concentrations en S-métolachlore covarient avec le stock d'eau dans le sol, ce qui montre une mise en solution probable de cette molécule lorsque le sol se remplit après précipitations et/ou irrigation, et s'oppose à la matière organique (adsorption et rétention dans le sol). Ce comportement est inversé pour le nicosulfuron présentant une dynamique plus rapide par dissipation et dégradation (Poppell *et al.*, 2002). En effet, le faible K_{OC} du nicosulfuron limite l'adsorption et donc le stockage de cette molécule dans le sol (5^e pesticide avec le plus faible K_{OC} sur les 26 pesticides mesurés dans cette étude ; Lewis *et al.*, 2016).

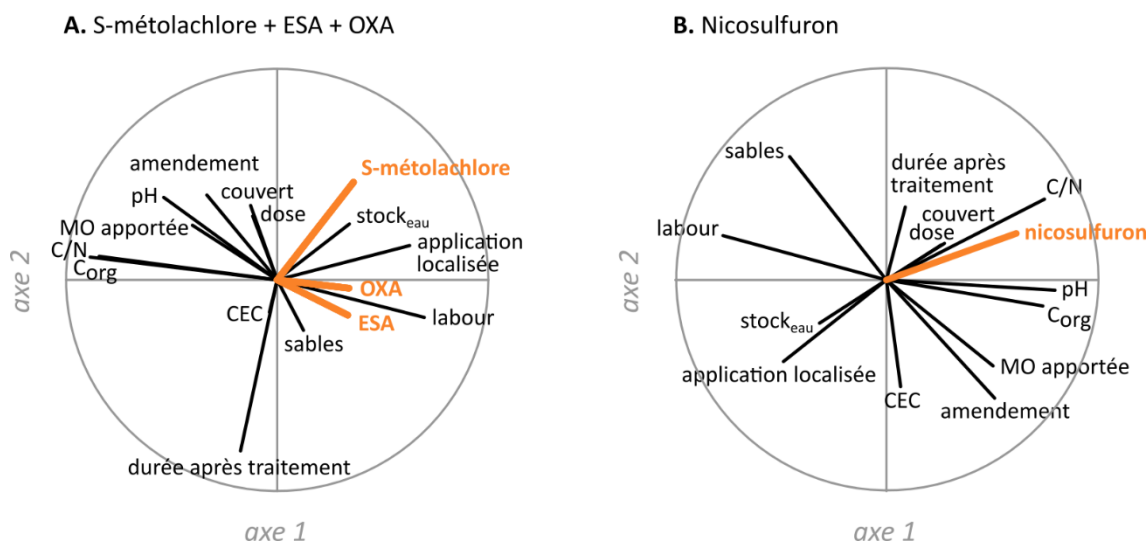


Figure 3 : Régression des moindres carrés partiels pour les concentrations moyennes dans la solution du sol en S-métolachlore et ses métabolites (A) et nicosulfuron (B).

La distribution des concentrations en pesticides dans la solution du sol semble donc principalement guidée par les variables environnementales plutôt que par les pratiques culturales testées. L'hétérogénéité des paramètres physico-chimiques des différentes molécules mesurées permet difficilement d'identifier des pistes universelles pour limiter le transfert des pesticides. L'augmentation des concentrations en période d'interculture nous incite à approfondir l'étude des processus en jeu. Dans l'objectif de recherche d'une conduite des cultures qui permette de limiter les transferts de pesticides, ces résultats font ressortir des pratiques intéressantes : la complémentarité d'outils de désherbage localisé et en plein, les couverts végétaux pour limiter les risques en interculture, la conduite de l'irrigation pour bien gérer le stock d'eau du sol et l'optimisation de la fertilisation pour limiter le développement des adventices. Comme le montre cet essai au champ, la co-construction de ces itinéraires techniques avec les agriculteurs est nécessaire pour trouver l'optimum entre efficacité environnementale et faisabilité à l'échelle de l'exploitation et de la rotation.

Références

- Aslam S., Iqbal A., Lafolie F., Recous S., Benoit P., Garnier P., 2008. Mulch of plant residues at the soil surface impact the leaching and persistence of pesticides: A modelling study from soil columns. *Journal of Contaminant Hydrology*, 214, 54-64.
- Fenoll J., Vela N., Navarro G., Pérez-Lucas G., Navarro S., 2014. Assessment of agro-industrial and composted organic wastes for reducing the potential leaching of triazine herbicide residues through the soil. *Science of the Total Environment*, 493, 124-132.
- Koller R., Martin L., Rapp O., 2018. Observatoire des fuites de phytosanitaires sous parcelles agricoles : Synthèse pluriannuelle 2006-2014. Association pour la Relance Agronomique en Alsace, 28 p.
- Lal R., 2015. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability*, 7 (5), 5875-5895.
- Lewis K.A., Tzilivakis J., Warner D.J., Green A., 2016. An international database for pesticide risk assessments and management. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 22 (4), 1050-1064.

- Lopez B., Ollivier P., Togola A., Baran N., Ghestem J.P., 2015. Screening of French groundwater for regulated and emerging contaminants. *Science of the Total Environment*, 518-519, 562-573.
- Majumdar K., Singh N., 2007. Effect of soil amendments on sorption and mobility of metribuzin in soils. *Chemosphere*, 66 (4), 630-637.
- Mauffret A., Baran N., Joulian C., 2017. Effect of pesticides and metabolites on groundwater bacterial community. *Science of the Total Environment*, 576, 879-887.
- Parihar C.M., Yadav MR., Jat S.L., Singh A.K., Kumar B., 2016. Long term effect of conservation agriculture in maize rotations on total organic carbon, physical and biological properties of a sandy loam soil in north-western Indo-Gangetic Plains. *Soil and Tillage Research*, 161, 116-128.
- Parihar C.M., Jat S.L., Singh A.K., Datta A., Parihar M.D., 2018. Changes in carbon pools and biological activities of a sandy loam soil under medium-term conservation agriculture and diversified cropping systems. *European Journal of Soil Science*, 69 (5), 902-912.
- Poppell C.A., Hayes R.M., Mueller T.C., 2002. Dissipation of nicosulfuron and rimsulfuron in surface soil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50 (16), 4581-4585.