

Fate of the herbicide glyphosate and its metabolite AMPA in soils and their transfer to surface waters: A multiscale approach in the Lavaux vineyards, western Switzerland

Daouk Silwan ; 2013

Supervisor: Prof. Hans-Rudolf Pfeifer (ISTE)

L'utilisation d'herbicides en agriculture pose des problèmes environnementaux comme la pollution des eaux de surface, avec un risque potentiel pour les organismes aquatiques. L'herbicide glyphosate est la substance active la plus utilisée au monde et en Suisse. Dans le vignoble du Lavaux c'est quasiment la seule molécule appliquée. Ce travail étudie le devenir de cet herbicide dans les sols et son transfert aux eaux de surface, en adoptant un approche multi-échelle: du niveau moléculaire (10^{-9} m) et microscopique (10^{-6} m), à l'échelle macroscopique (m) et kilométrique (10^3 m).

Tout d'abord, une méthode analytique a été développée pour la quantification de cet herbicide et de son principal métabolite, l'acide aminométhylphosphonique (AMPA). De par leur nature très polaire, une étape de dérivation de ces molécules est nécessaire à l'aide du 9-fluorenylmethyl chloroformate (FMOC-Cl), avant de les concentrer et les purifier par extraction sur phase solide. Elles sont ensuite analysées par chromatographie liquide ultra performante, couplée à un triple quadripôle (UPLCMS/ MS). La méthode a été testée dans différentes matrices aqueuses à l'aide de tests de fortifications. Avec des droites de calibrations montrant un coefficient de régression (r^2) supérieur à 0.989, des taux de récupération oscillants entre 86 et 133%, et une limite de détection et de quantification de 5 et 10 ng/l respectivement, la méthode a été validée pour la correction d'effet matrice dans les échantillons environnementaux.

A l'échelle macroscopique, deux parcelles du vignoble du Lavaux, situées près de la rivière Lutrive à 6 km à l'est de Lausanne, ont été choisies pour évaluer dans quelle mesure le glyphosate et l'AMPA sont retenus dans les sols ou exportés vers les eaux de surface. Elles ont été équipées avec des bougies poreuses en céramique et des capteurs de ruissellement, qui permirent de récolter des échantillons d'eau pour les saisons 2010 et 2011. Les résultats ont montré que la mobilité du glyphosate et de l'AMPA dans la zone non saturée est déterminée par le régime de précipitations et les caractéristiques du sol, comme la pente, la structure de la porosité et la différence de perméabilité entre les horizons. Des concentrations élevées de glyphosate et d'AMPA ont été observées à 60 et 80 cm de profondeur au bas des parcelles, suggérant leur infiltration en amont et la présence de flux préférentiels dans les parcelles étudiées. En effet, la succession d'événements pluvieux induit la saturation graduelle de la porosité du sol, et l'infiltration rapide à travers les macropores, ainsi que la formation de ruissellement de surface. De plus, la présence de marnes altérées plus imperméable à 100 cm de profondeur génère des flux de sub-surface, dont l'importance dans le transport latéral des molécules d'herbicide dépend de la pente. Les pluies importantes (>10 mm/j) exportaient clairement les molécules des couches superficielles, comme indiqué par des concentrations importantes dans les échantillons d'eau de ruissellement. Un bilan de masse a montré que la perte totale (10-20%) est réalisée principalement par Environmental fate of glyphosate X ruissellement de surface (96%), et dans une moindre mesure par flux latéraux de sub-surface (4%) et exfiltration vers les eaux de surface.

Les observations faites dans la Lutrive montrèrent des détails intéressants de la dynamique du glyphosate et de l'AMPA dans un paysage urbanisé comme le vignoble du Lavaux. En effet, à côté de leurs propriétés physico-chimiques, la dynamique de ces molécules à l'échelle du bassin versant dépend fortement des taux d'applications, du régime des précipitations, de l'occupation du sol et la présence de drains et de canaux construits. Des concentrations élevée, jusqu'à 4970 ng/l, mesurées peu après l'application ont confirmé l'exportation diffuse de ces composés des zone de vigne par ruissellement de surface lors d'événements pluvieux importants. D'avril à septembre 2011, une charge totale de 7.1 kg a été calculée à l'exutoire, avec 85% venant des surfaces viticoles et d'autres sources urbaines mineures, et pour 15% d'autres cultures. Les surfaces de vignes, pourtant relativement petites, ont généré de grandes concentrations d'herbicides et contribué considérablement à la charge totale calculé à l'exutoire, à cause des pentes importantes dans ce vignoble (~10%). La masse annuelle totale qui arrive dans le lac Léman, extrapolé pour l'ensemble du Lavaux, s'élève à 190kg.

A l'échelle moléculaire, la possible implication de la matière organique dissoute (MOD) dans le transport du glyphosate et du cuivre a été étudiée par spectroscopie de fluorescence UV/Vis. Cette technique, combinée à l'analyse factorielle parallèle (PARAFAC), a permis de caractériser la MOD des échantillons d'eau du sol et de rivière de la zone viticole étudiée. Les concentrations de glyphosate étaient liées aux signatures spectroscopiques de composés de type fulvique dans la solution du sol, ainsi qu'au cuivre, suggérant la formation de complexes ternaires. Dans les eaux de surface, ses concentrations étaient aussi corrélées à celles du cuivre mais pas aux composés fulviques.

Finalement, basée sur les concentrations maximales mesurées en rivière, une évaluation globale du risque environnemental pour ces composés a été réalisée, en combinant des tests en laboratoire avec des données d'écotoxicité de la littérature. Dans notre cas, ainsi que pour d'autres rivières en Suisse, le risque envers les organismes aquatiques a été estimé négligeable ($RF < 1$).