

# Étude sur lysimètres de l'effet d'un enherbement comparé à un maïs et un sol nu, sur le lessivage de l'atrazine et la DEA

Jean-Yves Chapot et Jean-Emmanuel Delphin

Collaboration technique: C. Schneider, G. Schwab, J.-L. Meyer et F. Tourrel

La bibliographie montre qu'une bande enherbée en bas de pente, réduit le ruissellement et la contamination des eaux de surface par les pesticides. Mais cette protection est en partie assurée par l'infiltration d'une quantité supérieure de pesticides par rapport à un maïs ou un sol nu (Arora *et al.*, 1996; Klöppel *et al.*, 1997). La dissipation physico-chimique et biologique (adsorption, dégradation, formation de résidus non extractibles...) ainsi que la mobilité des pesticides infiltrés sous un ray-grass, ont été étudiées au laboratoire et sur colonnes (Benoît *et al.*, 1999; Benoît *et al.*, 2000). Le risque de lessivage des pesticides sous une bande enherbée au champ est peu connu. Au champ en bas de pente, les différences de lessivage entre une succession de ray-grass (RGA), de maïs ou de sols nus, sont liées à de multiples facteurs de variations et interactions. On citera principalement les quantités de pesticides infiltrées, l'état hydrique du sol, le drainage, la dissipation des molécules, les transferts préférentiels (Flury *et al.*, 1995; Delphin et Chapot, 2001). Benoît *et al.*, 1999, ont notamment mis en évidence le rôle important de la litière du ray-grass dans la dissipation. L'incidence du pouvoir épurateur du système racinaire du ray-grass sur le lessivage a été peu étudiée.

La matière organique et l'activité microbienne associées aux systèmes racinaires augmentent la dissipation. Les anciennes racines qui se décomposent, peuvent augmenter les transferts préférentiels de pesticides, mais aussi favoriser

leur rétention et dégradation (Gish *et al.*, 1998). L'activité des vers de terre, plus intense sous un RGA, peut influencer la circulation de l'eau et du pesticide (Farenhorst *et al.*, 2000) lors d'épisodes de ruissellement. D'une année sur l'autre, les racines du RGA restent en place, tandis que sous maïs et sol nu, le travail du sol rompt la continuité racinaire et/ou modifie la porosité. L'amélioration de la stabilité des agrégats sous ray-grass augmente la macroporosité, ce qui peut favoriser les transferts rapides de pesticides, mais également accroître la dispersion et limiter leur mobilité (Wilson *et al.*, 1998). Une bande enherbée pourrait avoir des effets contraires, par rapport aux risques de lessivage, en augmentant la dissipation, mais aussi les transferts préférentiels et la mobilité des pesticides, d'où le besoin d'étudier la résultante des deux processus, dans des conditions proches de la réalité.

On a cherché à comparer sur lysimètres de grandes dimensions, l'efficacité globale (dissipation, mobilité) pour réduire le lessivage de pesticides, principalement du système racinaire d'un ray-grass et d'un maïs, par référence au pouvoir épurateur d'un sol nu. Le nombre de facteurs de variations a été limité. Les résidus aériens du ray-grass et du maïs ont été exportés. L'étude a été réalisée avec 250 g/ha d'atrazine, quantité supérieure aux apports par ruissellement. Les teneurs en atrazine et DEA, molécules aux propriétés différentes, de l'eau de drainage ont été suivies. L'expérience a été conduite sous irrigations à fortes pluviométries instantanées qui simulent des conditions de ruissellement

## Les contacts

INRA, Équipe Agriculture et environnement, UMR Vignes et vins d'Alsace, 28, rue de Herrlisheim, 68021 Colmar Cedex

(eau libre temporairement). On a cherché à réduire les variations des facteurs hydriques entre traitements. Un état hydrique identique lors des premières infiltrations (capacité au champ), permet d'éviter le transfert de pesticides à des profondeurs différentes et une dissipation variable. Des flux d'eau drainés proches sur les différents traitements, limitent les effets de concentration ou de dilution variables des teneurs.

### Matériel et méthodes

Dispositif : deux lysimètres par traitement (2m\*2m\*1m). Sol: limon-argileux calcaire (loess). MO: 0-30 cm, 2,1 %; 30-60 cm, 1,1 %; 60-90 cm, 0,4 %. Les résultats présentés concernent la deuxième année. RGA et maïs installés en mai 1997. Apport de 150 g/ha d'atrazine en 07/97 sur les trois traitements. Les parties aériennes et la litière du RGA en 1997 et 1998, ainsi que les cannes de maïs en 1997, ont été exportées. Les traitements maïs et sol nu ont été bêchés (0-25 cm) en 12/97. Un apport de 250 g/ha d'atrazine (m.a.) a été effectué le 27/05/98. La veille, le sol a été amené à la capacité au champ. Pulvérisation sur maïs au stade 2 feuilles étalées, sur RGA coupé à 2 cm de hauteur (litière et p.a. exportée). La pulvérisation a été immédiatement suivie d'une irrigation de 10 mm, qui a également servi à rincer les plantes. Trente millimètres de pluie sont tombés entre le 28/5 et le 31/5/98. Des irrigations de 12 mm, avec une pluviométrie horaire de 100 mm/h, sont réalisées avec une rampe mobile. Leur nombre varie suivant les traitements, afin d'obtenir des drainages proches au cours du temps. Elles ont été régulièrement réparties au cours des cinq mois suivants. Le rythme mensuel moyen de drainage est de 70 mm par mois, soit 350 mm jusqu'à la fin octobre.

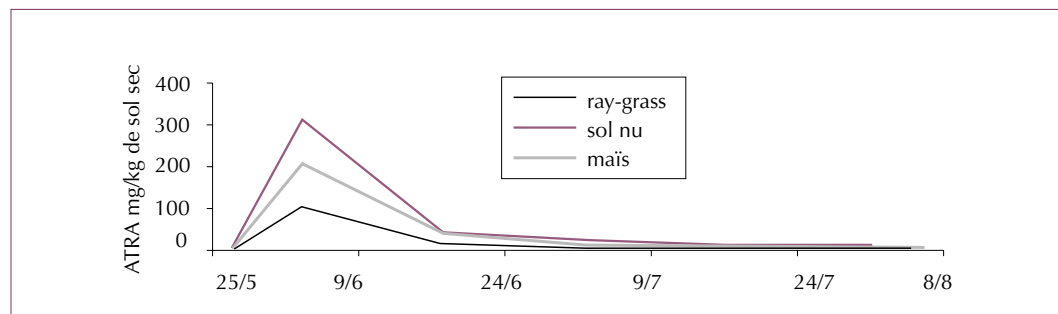
### Résultats et discussion

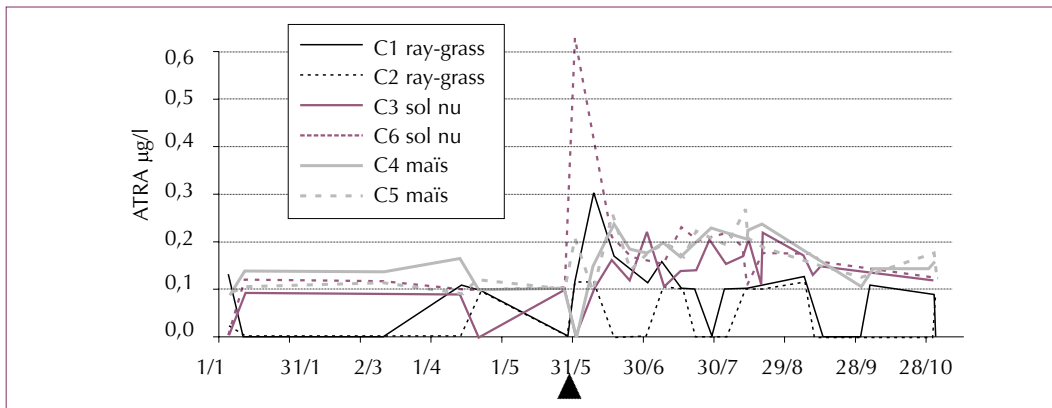
On peut estimer à partir d'extractions à l'eau d'échantillons de sols 0-2,5 cm (sol/eau = 1/10), que la période de forte disponibilité dure une vingtaine de jours pour ce niveau d'apport (figure 1). Le 3/06/98, le classement des teneurs est cohérent avec un effet de la densité du système racinaire dans l'horizon de surface (deux lysimètres par traitement).

### Phase de transferts à plus fortes teneurs dans les percolats

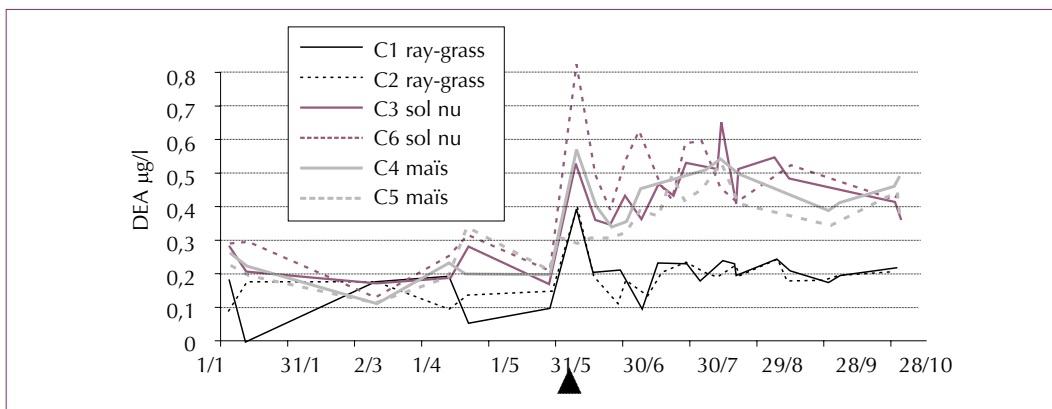
Les concentrations en atrazine et DEA de l'eau drainée présentent un faible pic lors des deux premiers prélèvements les 2/06 et 10/06, pour des drainages cumulés de 26 et 40 mm (figures 2 et 3) ce qui traduit l'existence de transferts préférentiels à plus forte teneurs. Au cours de cette phase à forte disponibilité en surface, les teneurs de l'eau drainée sont déterminées principalement par des flux rapides de pesticides par les macropores depuis la couche superficielle. Ces flux plus concentrés pourraient être en partie dilués par l'eau des transferts lents dans la mésoporosité, non encore chargée en pesticides. On constate une certaine variabilité des pics de concentrations entre lysimètres. Elle pourrait être liée à l'hétérogénéité de la distribution des macropores (Grossmann and Udluft, 1991). Dans le cas de l'atrazine, les teneurs de l'eau drainée ne semblent pas différentes sur les trois traitements. Si on fait l'hypothèse d'une adsorption plus forte dans le cas du ray-grass, alors les résultats conduisent à supposer qu'elle serait compensée par des transferts préférentiels plus élevés. Pour la DEA les concentrations sont plus élevées que celles de l'atrazine car cette molécule est plus faiblement adsorbée et plus facilement désorbée (Schiavon, 1988). On observe sous RGA une atténuation des teneurs

► Figure 1 – Concentrations en atrazine du sol entre 0-2,5 cm extrait à l'eau.





◀ Figure 2 – Concentrations en atrazine de l'eau de drainage des lysimètres, suite à un apport de 250 g/ha d'atrazine (m.a.) le 27/05/98.



◀ Figure 3 – Concentrations en DEA de l'eau de drainage des lysimètres.

en DEA par rapport au sol nu, mais elle est limitée et il subsiste un pic de concentration de l'ordre de 0,25 µg/l. Lors de la phase initiale de transferts rapides à plus fortes teneurs, l'augmentation du pouvoir d'adsorption du milieu lié au RGA, ne suffit pas à entraîner l'extinction totale des teneurs en DEA. On peut avancer l'hypothèse que ce résultat s'explique par un temps de contact sol/soluté insuffisant. On ne constate pas d'effet du maïs par rapport au sol nu.

### Phase de stabilisation relative ou de diminution lente des teneurs en résidus dans les percolats

Au cours de la phase précédente, les transferts préférentiels à plus fortes teneurs ont réparti, au cours d'échanges entre macro et mésoporosité, la plus grande part des pesticides dans l'eau de la mésoporosité et sur la phase solide. Les teneurs de l'eau dans la mésoporosité s'atténuent, principalement sous l'influence des processus de dissipation et un équilibre s'établit entre adsorption et désorption. Au cours de cette

seconde phase, correspondant à de faibles apports de pesticides par transferts préférentiels depuis la surface, les teneurs de l'eau drainée sont déterminées principalement par l'écoulement lent de l'eau dans la mésoporosité, en partie dilué par l'eau des transferts rapides. On observe dans l'expérience une relative stabilité des teneurs de l'eau drainée sur une période assez longue, dans des conditions de drainage élevées. Les teneurs d'équilibre relatif varient suivant les propriétés des molécules, elles sont plus élevées pour la DEA qui est plus faiblement adsorbée. L'apport de 250 g/ha d'atrazine engendre une pollution diffuse en atrazine de moins de 0,1 µg/l sur maïs et sol nu à laquelle remédie totalement l'implantation d'un ray-grass. Dans le cas de la DEA, cette contamination diffuse après apport est de l'ordre de 0,25-0,30 µg/l sous maïs et sol nu et de moins de 0,1 µg/l sous RGA. Le lessivage plus faible de l'atrazine s'explique par l'adsorption plus forte de cette molécule. Le système racinaire du ray-grass permet de réduire presque complètement la pollution des eaux drainées par la DEA au cours de cette seconde

phase de transfert. Son efficacité supérieure au cours de la deuxième phase, pourrait s'expliquer par une durée de contact plus longue du pesticide avec le sol, favorable à la dissipation et plus particulièrement à la formation de résidus liés (Benoit *et al.*, 1999).

Pour les deux molécules, une culture de maïs n'entraîne pas d'extinction supplémentaire des teneurs par rapport au sol nu. On peut attribuer l'efficacité du RGA, notamment à la dissipation liée à la forte densité racinaire dans l'horizon 0-30 cm, tandis que les racines du maïs sont distribuées sur un mètre.

## Conclusions

Cette expérience conduite dans des conditions hydriques proches, est une comparaison pour les trois traitements, de la résultante des effets dissipation et transferts préférentiels sur le lessivage. Les résultats traduisent l'aptitude d'un ray-grass, d'un maïs par rapport à un sol nu, à réduire le lessivage. Dans la pratique, le lessivage sera déterminé par ces différences d'aptitudes et par les variations d'état hydrique et d'infiltration du pesticide entre traitements.

Cette expérience simule des conditions de risques élevées (apport élevé de pesticides par rapport à un événement ruisselant, sol à la capacité au champ, flux d'eau rapides et quantités drainées élevés), sur un sol limoneux d'un mètre, normalement pourvu en MO. Les résultats montrent que l'efficacité principalement du système racinaire d'une bande enherbée pour réduire les teneurs de l'eau drainée, varie en fonction des propriétés des molécules et des phases de transfert du pesticide.

Pour une molécule plus fortement adsorbée telle l'atrazine, le pouvoir épurateur du sol suffit quasiment à supprimer toute contamination. Une pollution résiduelle de l'ordre de 0,1 µg/l sous maïs et sol nu est facilement réduite par l'enherbement. La bande enherbée est efficace, son utilité pour compléter le pouvoir épurateur du sol nu est relativement limitée. Pour une molécule plus faiblement adsorbée telle la DEA, le pouvoir épurateur du sol est insuffisant et le lessivage sur maïs et sol nu est supérieur à celui de l'atrazine.

L'efficacité de la bande enherbée est insuffisante au cours de la première phase de transfert correspondant à une forte

disponibilité du pesticide en surface et dans des conditions de transferts préférentiels rapides du pesticide depuis la couche superficielle. Un risque de lessivage subsiste au cours de cette phase, il est cependant plus faible que sous maïs et sol nu.

En revanche, au cours de la phase suivante de stabilisation relative ou de diminution lente des teneurs en DEA, la bande enherbée permet quasiment de remédier à toute contamination, probablement du fait de l'augmentation de la durée de contact du pesticide avec le sol et le système racinaire du ray-grass. Le système racinaire du maïs n'apporte aucun effet épurateur supplémentaire par rapport au sol nu, pour les deux molécules.

Une bande enherbée est nécessaire en bas de pente pour protéger les eaux de surface. Les résultats montrent dans des conditions où les risques sont élevés, que son système racinaire assure une protection efficace. Il permet de remédier au lessivage, sauf dans le cas de molécules mobiles pour lesquelles un risque faible subsiste pendant la phase de forte disponibilité en surface et en cas de transferts rapides. Ce risque devrait être très faible dans les conditions réelles, car les apports de pesticides par ruissellement sont inférieurs à ceux de l'expérience. Dans la pratique, la litière non prise en compte dans l'expérience, contribuerait à augmenter l'efficacité de la bande enherbée.

L'utilité d'une bande enherbée, estimée par référence aux traitements maïs et sol nu, est plus grande pour les molécules faiblement adsorbées. Il faut préciser que dans les conditions réelles, les quantités de pesticides infiltrées sous maïs et sol nu sont plus faibles que sous ray-grass, d'où des teneurs inférieures de l'eau drainée et une utilité de la bande enherbée qui serait plus limitée par rapport à l'expérience.

L'expérience a été conduite dans des conditions de flux d'eau rapides et de drainage élevé, qui ont favorisé pendant la phase de forte disponibilité du pesticide en surface, le transfert d'une plus forte proportion du pesticide dans l'eau de drainage et dans les horizons profonds. En profondeur le pesticide est davantage désorbé et lessivé. Le pouvoir épurateur du RGA n'est probablement pas optimal dans ces conditions hydriques. Il serait optimisé dans des conditions de sol avec déficit hydrique et d'apports par ruissellement limités aux niveaux supérieurs du

profil, où l'adsorption et la dégradation sont plus fortes.

Pour ce qui concerne les effets cumulatifs pluriannuels, on peut avancer l'hypothèse d'une augmentation de la dissipation liée à la MO et peut être aussi des transferts préférentiels en relation avec l'activité des vers de terre.

---

### Remerciements

Cette étude a bénéficié de l'aide de l'Agence de l'eau Rhin-Meuse pour la construction et le fonctionnement du dispositif lysimétrique de l'INRA de Colmar.

---

### Résumé

L'efficacité d'une bande enherbée pour réduire le lessivage des pesticides est mal connue. On a comparé sur des lysimètres (2m\*2m\*1m) remplis avec un sol limoneux, les traitements ray-grass, maïs et sol nu, pour une dose de 250 g/ha d'atrazine, dans des conditions de transferts préférentiels et de drainage élevés (irrigations de 12 mm avec une intensité de 100 mm/h). Ces conditions simulent un niveau de risque élevé. Dans le but de mettre en évidence l'effet global de différences de dissipation et de transferts préférentiels sur les teneurs de l'eau drainée, on a cherché à limiter la variation des facteurs hydriques entre traitements (état hydrique initial puis drainage respectivement proches). Afin d'étudier principalement l'effet du système racinaire du ray-grass et du maïs, les résidus aériens ont été exportés.

L'efficacité du système racinaire du ray-grass par rapport au lessivage varie en fonction des propriétés des molécules (atrazine, DEA) et des phases de transfert du pesticide. Dans le cas de l'atrazine, molécule plus fortement adsorbée, l'efficacité est totale. Dans le cas de la DEA, molécule plus mobile, un risque faible subsiste pendant la phase de forte disponibilité du pesticide en surface et en conditions de transferts rapides. Ce risque est plus faible que sous maïs et sol nu. Il est attribué à une dissipation insuffisante, limitée par la durée du contact sol pesticide. L'utilité du ray-grass est plus grande pour une molécule plus faiblement adsorbée. Le système racinaire du maïs n'apporte pas d'effet épurateur supplémentaire par rapport au sol nu. L'efficacité du ray-grass est attribuée à la dissipation, liée à la forte biomasse racinaire dans l'horizon 0-30 cm. Les résultats obtenus dans des conditions hydriques proches, traduisent l'aptitude d'un ray-grass, d'un maïs, comparé à un sol nu, à réduire le lessivage. Dans la pratique, le lessivage sera déterminé par ces différences d'aptitudes et par les variations d'état hydrique et d'infiltration du pesticide entre traitements.

### Abstract

The efficiency of a vegetative buffer strip to reduce pesticide leaching is poorly understood. Using lysimeters (2m\*2m\*1m) filled with a silty soil, we compared the effects of rye-grass, maize and bare soil. Leaching was monitored for an application of 250 g/ha of atrazine, which is more than would arrive in run-off. The treatments were compared under irrigations, with equal drainage, equivalent to 350 mm in 5 months, allowing the overall effects of differences in dissipation and preferential transfers on leaching to be estimated. Aerial rye-grass and maize residues were exported, to investigate the effect of root system principally. The results show that under the conditions of this experiment the rye-grass root system enhances the purifying power of the soil and suppressed the leaching of atrazine and partly that of DEA. For the DEA, less adsorbed, a risk of leaching may occur when the pesticide is highly available on the soil surface under the conditions of rapid transfers. The maize had no better purifying effect than bare soil. The effectiveness of rye-grass is attributed to dissipation, due to the large root biomass in the 0-30 cm layer. The value of a grassed strip is greater for weakly adsorbed molecules.

## Bibliographie

- ARORA, K., MICKELSON, S.K., BACKER, J.L., TIERNEY, D.P., PETERS, C.J., 1996. Herbicide retention by vegetative buffer strips from runoff under natural rainfall. *Trans. ASAE* 39, p. 2155-2162.
- BENOIT, P., BARRIUSO, E., VIDON, P., RÉAL, B., 1999. Isoproturon sorption and degradation in a soil from grassed buffer strip. *J. Environ. Qual.*, 28, p. 121-129.
- BENOIT, P., BARRIUSO, E., VIDON, P., RÉAL, B., 2000. Isoproturon movement and dissipation in undisturbed soil cores from a grassed buffer strip. *Agronomie*, 20, p. 297-307.
- DELPHIN, J.-E. et CHAPOT, J.-Y., 2001. Leaching of atrazine and deethylatrazine under a vegetative filter strip. *Agronomie*, 21, p. 461-470.
- FARENHORST, A., TOPP, E., BOWMAN, B.T., TOMLIN, A.D., 2000. Earthworm burrowing and feeding activity and the potential for atrazine transport by preferential flow. *Soil Biology & Biochemistry*, 32, p. 479-488.
- FLURY, M., LEUENBERGER, J., STUDER, B., FLÜHLER, H., 1995. Transport of anions and herbicides in a loamy and a sandy field soil. *Water Resource Research*, 31, p. 823-835.
- GISH, T.J., GIMENEZ, D., RAWLS, W.J., 1998. Impact of roots on ground water quality. *Plant and soil*, 200, p. 47-54.
- GROSSMANN, J. and UDLUFT, P., 1991. The extraction of soil water by suction-cup method: a review. *Journal of Soil Science*, 42, p. 83-93.
- KLÖPPEL, H., KÖRDEL, W. and STEIN, B., 1997. Herbicide transport by surface runoff and herbicide retention in a filter strip - rainfall and runoff simulation studies. *Chemosphere*, 35, p. 129-141.
- SCHIAVON, M., 1988. Studies of the movement and the formation of bound residues of atrazine, of its chlorinated derivatives, and of hydroxyatrazine in soil using <sup>14</sup>C ring-labelled compounds under outdoor conditions. *Ecotoxicology and environmental safety*, 15, p. 55-61.
- WILSON, G.V., YUNSHENG, L., SELIM, H.M., ESSINGTON, M.E., TYLER, D.D., 1998. Tillage and cover crop effects on saturated and unsaturated transport of fluometuron. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 62, p. 46-55.