

Intérêt des zones tampons pour limiter les transferts hydriques de produits phytosanitaires : quelle transposition possible des connaissances pour les haies et les haies sur talus ?

Les zones tampons enherbées ont montré leur efficacité pour limiter les transferts hydriques de produits phytosanitaires entre les parcelles sur lesquelles ils sont appliqués et le milieu aquatique. Cet article examine dans quelle mesure les connaissances acquises sur ces dispositifs sont transposables au cas du bocage. Il ressort de cette analyse que l'évolution des caractéristiques du sol induite par la présence des haies et des haies sur talus favorise a priori la rétention des contaminants. Pour autant quelques points susceptibles de limiter leur efficacité sont ici soulignés.



utilisation de produits phytosanitaires pour protéger les cultures conduit à une contamination généralisée des milieux aquatiques. Celle-ci a potentiellement des implications tant au niveau de l'alimentation en eau potable qu'au niveau du fonctionnement des écosystèmes. Les solutions pour limiter cette contamination sont de trois ordres (Aubertot *et al.*, 2005) :

- limiter le recours à l'usage des produits phytosanitaires par une re-conception des systèmes culturaux,
- réduire leur usage par un raisonnement au plus fin des pratiques,
- limiter leurs transferts vers les milieux aquatiques.

Les plans Ecophyto successifs visent à développer les solutions des deux premiers types, qui restent pour certaines à élaborer, tester et/ou diffuser. Les solutions de type 3 peuvent quant à elles être mises en œuvre dès maintenant : il s'agit de limiter les transferts par dérive de pulvérisation, en utilisant du matériel adapté, dans des conditions météorologiques correctes, et de limiter les transferts hydriques, en mettant à profit la capacité que les produits phytosanitaires ont de se fixer aux particules de sol et d'être dégradés après leur application sur les parcelles agricoles ou au cours de leur transfert vers le milieu aquatique.

Cet article aborde la limitation des transferts hydriques de produits phytosanitaires¹, également appelés produits phytopharmaceutiques ou pesticides (PPP dans la suite du texte) : il rappelle brièvement les connaissances sur les processus gouvernant le devenir des PPP dans l'environnement et le fonctionnement des zones tampons enherbées, et présente les facteurs influençant l'efficacité de ces aménagements dans la dissipation des flux de PPP transférés vers l'aval. Il s'appuie ensuite sur ces différents éléments pour tenter d'évaluer l'intérêt des haies et haies sur talus pour limiter les transferts hydriques de PPP, à la lueur des travaux sur l'influence des haies et haies sur talus sur les transferts d'eau et de nitrate, menés notamment par l'unité mixte de recherche « Sol, Agro et hydro-système, Spatialisation » (UMR SAS, Rennes) depuis de nombreuses années.

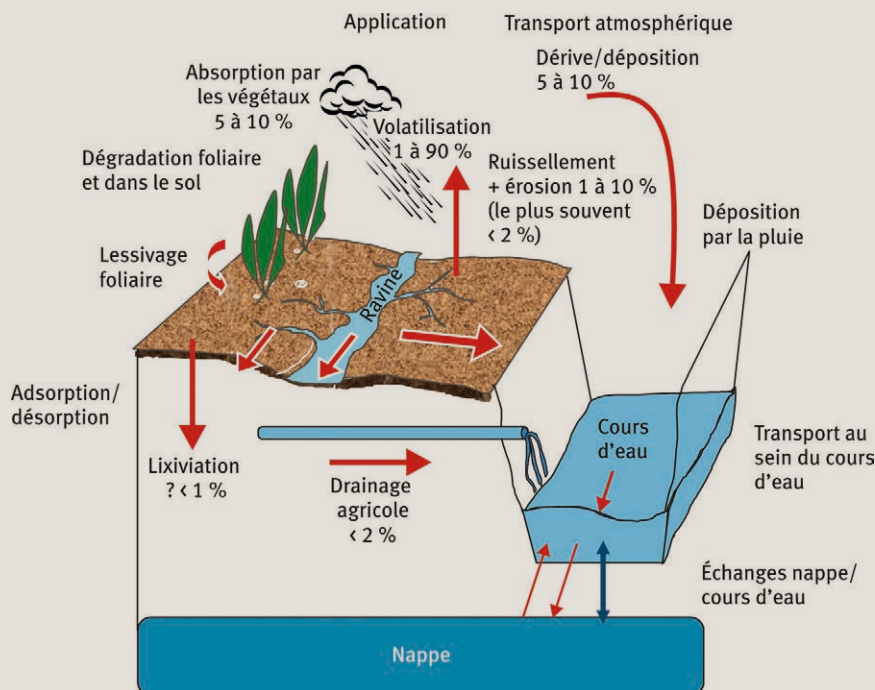
Zones tampons enherbées et produits phytosanitaires

Transferts hydriques des produits phytosanitaires dans l'environnement

Les processus en jeu sont décrits ici très brièvement et de façon schématique ; pour plus de détails, on pourra se reporter par exemple à Carluer *et al.* (2017). Après

1. En toute rigueur, il conviendrait de distinguer le produit commercial, composé d'une ou plusieurs substances actives et d'adjuvants renforçant par exemple leur efficacité ou leur durée de vie, et les substances actives/molécules pesticides, libérées après l'application et la dissolution de la spécialité commerciale. Dans la suite de cet article, nous utiliserons indifféremment le terme de produit phytosanitaire, pesticide, ou produit phytopharmaceutique (PPP) pour désigner la spécialité commerciale et la(les) substance(s) active(s) qui vont migrer dans l'environnement.

❶ Principaux processus impliqués dans le devenir et le transfert des pesticides appliqués sur une parcelle agricole et ordres de grandeur des flux annuels dans la gamme haute des transferts associés (tous ces processus n'adviennent pas forcément en même temps : par exemple, un drainage important induit en général un ruissellement faible et vice versa) ; source : Inra.



son application au sein d'une parcelle agricole, outre sa mobilisation par dérive de pulvérisation ou volatilisation depuis la surface sur laquelle il a été appliqué, un PPP est susceptible d'être transféré essentiellement par quatre types d'écoulement (figure ❶) :

- le ruissellement de surface, qui peut se produire parce que la pluie dépasse la capacité d'infiltration du sol, ou parce que le sol est localement saturé en eau ;
- les écoulements de proche subsurface, qui adviennent dans les horizons peu profonds du sol, notamment quand ceux-ci se développent sur un socle peu ou pas perméable, avec une topographie marquée ;
- les écoulements induits par un réseau de drainage par tuyaux enterrés, en particulier dans le cas de sols hydromorphes drainés ;
- la percolation vers une nappe sous-jacente, notamment dans le cas de sols filtrants ou d'écoulements préférentiels (macroporosité, fentes de retrait...).

Les PPP peuvent être transférés dissous, ou adsorbés sur des matières en suspension. En effet, ces substances ont la capacité de se fixer sur des agrégats de sol, en particulier sur la matière organique et sur les argiles. Cette capacité varie toutefois beaucoup d'une substance à l'autre ; elle est en général rendue par le coefficient de partage Carbone organique – Eau, ou K_{oc} , d'autant plus élevé que la substance a tendance à s'adsorber (Calvet *et al.*, 1980). Les PPP sont en général surtout transférés sous forme dissoute (Gouy, 2012), mais la fraction particulaire peut être significative en cas de ruissellement très érosif ou de capacité d'adsorption élevée. Notons que

ce sont surtout les particules les plus fines qui contribuent alors aux transferts.

Une autre propriété des PPP intéressante à exploiter est leur capacité à être dégradés, par photolyse, ou réaction biotique ou abiotique dans le sol. Dans la zone active du sol, la dégradation biotique est de loin prépondérante, et décroît rapidement avec la profondeur. Là aussi, les substances montrent une grande diversité de comportements : la demie-vie, ou DT50, durée nécessaire pour que la moitié des substances appliquées soit dégradée, varie typiquement de quelques jours à une centaine de jours selon les substances. D'autres caractéristiques, comme la polarité ou la solubilité influencent également le devenir environnemental des PPP.

Deux faits majeurs découlent des paragraphes précédents :

- la proportion de PPP transférable depuis une parcelle agricole vers les eaux de surface représente généralement une très petite partie du pesticide appliqué, quantité qui dépend de la disponibilité de la substance dans le sol, et donc de la résultante des phénomènes couplés d'adsorption et de dégradation ;
- les transferts hydriques vers les eaux de surface et les eaux profondes sont très dépendants de la dynamique de l'eau dans le sol et du régime des précipitations (conditions climatiques difficiles à prévoir). Ainsi, un facteur de risque majeur pour les eaux de surface est l'intervalle de temps qui s'écoule entre l'application du pesticide et la première pluie pouvant déclencher le ruissellement ou activer le drainage dans le cas de sols drainés (Voltz et Louchart, 2002).

► On pourra retenir en première approche que la contamination des eaux diffère suivant la voie d'écoulement. Elle est maximale, en termes de concentration, pour le ruissellement, moyenne pour le drainage artificiel des sols, moyenne à faible pour la percolation. Cette dernière, bien que plus faible, est toutefois susceptible d'advenir sur une plus grande partie de la surface traitée et sur une plus longue période. La hiérarchisation des voies de transfert en termes de flux, c'est-à-dire de quantités totales transférées, dépend des systèmes hydrologiques (CORPEN, 1999). Il est pertinent de chercher à réduire les flux de ruissellement lorsqu'il s'agit d'un flux important sur le secteur considéré. Le risque maximal de contamination des eaux correspond aux fortes averses qui se produisent peu de temps après l'application ou l'arrivée du produit au sol, c'est-à-dire quand la disponibilité de la substance est maximale sur et dans le sol, et qu'elle va pouvoir être mobilisée notamment par ruissellement ou drainage par tuyau enterré. Les pertes durant ces quelques événements hydrologiques peuvent constituer la majorité de la contamination annuelle. Elles sont en moyenne d'autant plus fortes que le milieu est vulnérable, par exemple quand les sols sont constitués de limons battants, sujets à l'hydro-morphie, ou drainés en plaine.

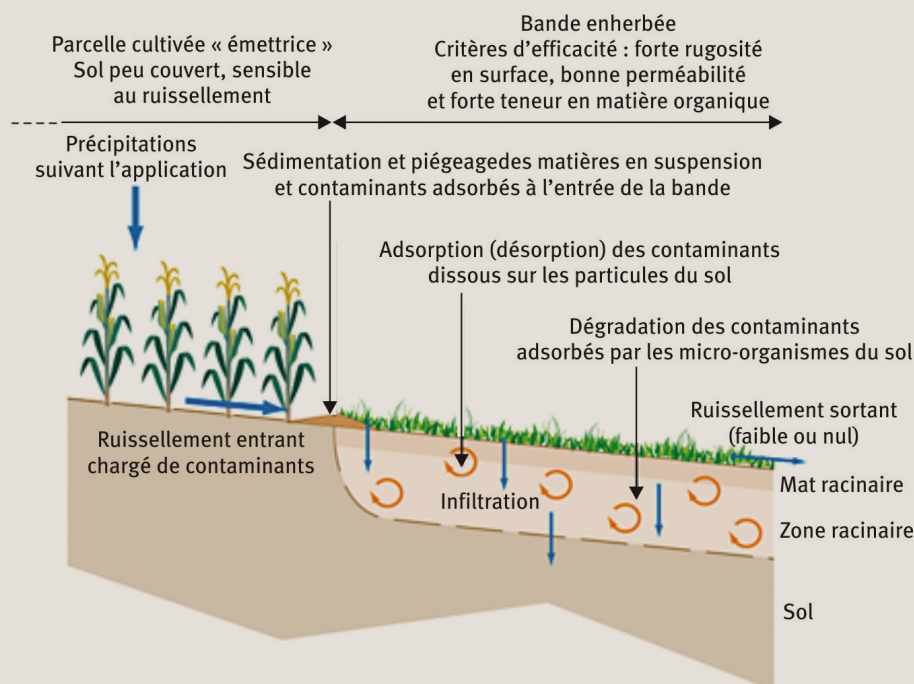
Fonctionnement d'une zone tampon enherbée

Compte tenu de ces éléments, les zones végétalisées situées au sein ou en aval d'une parcelle peuvent jouer un rôle de zone tampon, c'est-à-dire atténuer les concentrations et/ou les flux transférés vers le réseau

hydrographique (figure 2). En effet, la présence d'une végétation pérenne induit des propriétés du sol favorisant la rétention des PPP. La rugosité favorisée par la végétation entraîne le dépôt d'une partie des matières en suspension issues de l'érosion hydrique, susceptibles d'entraîner des polluants adsorbés, à l'amont de la zone tampon. Cette sédimentation concerne toutefois essentiellement les particules grossières, qui ne sont pas les plus efficaces en termes d'adsorption. Le ralentissement de l'écoulement induit par cette rugosité, et la perméabilité en général plus importante que celle des sols cultivés – liée à une importante densité racinaire et à une forte teneur en matière organique du premier horizon de sol – favorisent l'infiltration du ruissellement, et des contaminants associés. La forte teneur en matière organique induit par ailleurs l'adsorption des PPP infiltrés, et ce d'autant plus que leur Koc est élevé. De surcroît, l'éloignement du cours d'eau de la zone traitée qu'induit une zone tampon (non traitée) réduit également le risque de contamination du cours d'eau par dérive de pulvérisation. Cette zone non traitée entraîne également mécaniquement une dilution des PPP dans les lames écoulées, et réduit donc les concentrations atteignant le cours d'eau (Gouy *et al.*, 2008).

De façon générale, l'infiltration est le processus contribuant majoritairement à l'efficacité d'une zone tampon enherbée à limiter le transfert par ruissellement des PPP (Lacas, 2005), sous réserve que le sol ne soit pas saturé en eau (présence d'une nappe sous-jacente, par exemple).

2 Processus d'atténuation du ruissellement et de rétention des pesticides en sein d'une zone tampon enherbée (Catalogne et Le Hénaff, 2017).



Transposition au cas des haies et haies sur talus

Les processus en jeu au sein de surfaces tampons boisées sont similaires, la litière déposée sous la strate arborée accentuant encore en général les particularités des zones tampons enherbées par rapport aux parcelles cultivées, grâce à une teneur en matière organique accrue. Des travaux menés au sein d'Irstea ont ainsi mis en évidence des perméabilités de l'ordre de 400 mm/h dans des zones arborées. Par ailleurs, les travaux menés au sein de l'UMR SAS à Rennes ont également montré que la présence prolongée d'une haie entraîne une modification des caractéristiques du sol et du fonctionnement hydrodynamique du sol *a priori* favorable à la dissipation des pesticides transférés dans le ruissellement :

- épaissement de l'horizon organique du sol à l'amont de la haie, sur une distance pouvant atteindre une dizaine de mètres, accroissement du stock de carbone organique par rapport aux sols des parcelles cultivées, diminution de la densité apparente du sol liée à une porosité plus importante (Follain, 2005) ;
- transpiration accrue conduisant à un assèchement d'un volume de sol dépendant de la canopée, de la profondeur racinaire et des caractéristiques hydrodynamiques du sol, et se traduisant notamment par un retard à la reprise des écoulements en subsurface à l'automne. Cette baisse de l'humidité favorise *a priori* également l'infiltration de l'eau, en limitant l'engorgement des sols. L'assèchement des premiers horizons de sol est par contre retardé au printemps, par effet de l'ombrage induit par la canopée des arbres (Thomas *et al.*, 2012). Notons par ailleurs qu'une très faible teneur en eau peut temporairement limiter le processus de dégradation pour les pesticides présents dans cette zone, en limitant l'activité des micro-organismes responsables de cette dégradation ;
- les conditions de pH et de redox diffèrent également dans cette zone par rapport au sol avoisinant (Grimaldi *et al.*, 2012), et pourraient influencer les processus de dissipation, mais d'une façon qui n'est probablement pas univoque compte tenu de la grande variété des substances.

La présence d'un talus favorise *a priori* encore l'efficacité de la haie comme zone tampon, en forçant l'infiltration à son amont, et permettant ainsi au sol de jouer un rôle de filtre favorisant adsorption et dégradation des substances. Une haie constitue par ailleurs une protection efficace pour limiter la dérive de pulvérisation, ce d'autant plus que la haie est dense et élevée. Enfin, la haie et le pied de haie, convenablement gérés, constituent un milieu potentiellement favorable pour le développement des auxiliaires de culture, et peuvent ainsi permettre de limiter le recours aux PPP (<https://arena-auximore.fr/>).

Les haies et haies sur talus constituent donc bien un type d'infrastructure verte particulièrement intéressant à considérer dans une stratégie d'aménagement pour limiter les transferts de PPP vers les cours d'eau. Pour autant, quelques points susceptibles de réduire leur efficacité méritent d'être soulignés.

Points de vigilance

La largeur au pied des haies « à plat » (c'est-à-dire non situées sur un bourrelet de terrain ou un talus) est souvent assez restreinte : malgré leur forte capacité d'infiltration, cette largeur peut ne pas être suffisante pour

infiltrer une part significative du ruissellement entrant, et le rôle de la haie peut alors être essentiellement celui de filtre des matières en suspension présentes dans le ruissellement. L'efficacité d'une haie à réduire le ruissellement en fonction de son contexte d'implantation peut être évaluée par exemple en utilisant l'outil BUVARD (*Buffer strip runoff Attenuation and pesticide Retention Design tool* ; Catalogne *et al.*, 2018), développé à Irstea. Il peut être intéressant d'envisager une haie double, ou *a minima* une zone tampon enherbée (non tassée) associée à la haie pour augmenter l'efficacité tampon. La haie sur talus permet en première approche d'augmenter la capacité d'infiltration de la haie, en bloquant le ruissellement amont. Plusieurs éléments peuvent toutefois nuire à cette efficacité : les talus sont souvent percés d'un trou à leur point bas, justement pour permettre d'évacuer l'eau stagnante. Un tel aménagement non seulement réduit l'infiltration à l'amont de la haie, mais canalise ensuite le ruissellement à l'aval, accroissant le risque d'un trajet rapide jusqu'au cours d'eau. Les talus sont également souvent bordés à leur amont de fossés, vestiges de leur construction et/ou assurant un rôle de drainage de la parcelle amont : ceux-ci peuvent également court-circuiter la capacité tampon de la haie, en évacuant rapidement l'eau collectée (Merot *et al.*, 1999). Ces éléments sont difficilement repérables par la seule étude des cartes ou photo aérienne, et une observation sur le terrain s'avère indispensable pour élaborer un diagnostic pertinent de la capacité « tampon » des différents éléments du paysage. L'eau qui stagne à l'amont des talus, dans le cas d'une topographie peu marquée, peut également représenter une contrainte inacceptable pour l'agriculteur exploitant la parcelle².

Un autre point mérite attention et justifierait des recherches complémentaires : l'essentiel de l'efficacité des zones tampons végétalisées provenant de l'infiltration des flux ruisselés, il faut prendre garde au fait que les PPP infiltrés ne rejoignent pas la nappe sous-jacente, puis le cours d'eau par écoulement latéral de subsurface dans le cas par exemple d'écoulements peu profonds sur socle peu perméable, fréquent dans les régions de bocage. Or la structuration du sol induite par la présence de matière organique dans la zone d'influence de la haie et le réseau racinaire des arbres qui la constituent sont autant d'éléments qui favorisent les écoulements préférentiels, particulièrement propices au transfert de PPP. De tels écoulements adviennent *a priori* à l'automne à la reprise des écoulements, quand les fissures du sol sont ouvertes, et dans une moindre mesure au printemps, si le sol est humide et la nappe sous-jacente continue (Zahra et Thomas, comm pers). L'été, l'assèchement de cette zone induit par le prélèvement racinaire des arbres réduit *a priori* les risques d'infiltration rapide (Ghavazi *et al.*, 2008). Automne et printemps étant des périodes d'application des PPP, des travaux similaires à ceux menés antérieurement sur le devenir des PPP infiltrés au sein des zones tampons enherbées (Lacas, 2005) semblent souhaitables pour évaluer le risque de contamination induit par les écoulements préférentiels sous les haies.

2. Ces brèches ou trouées volontaires devraient *a minima* être obturées (pelles ou mottes de terre) au moment des applications et durant les semaines suivantes.

Conclusion

Les haies et haies sur talus apparaissent comme des éléments du paysage particulièrement intéressants à considérer dans le cadre de l'aménagement d'un bassin versant pour limiter les transferts hydriques de produits de protection des plantes. Ils offrent par ailleurs des services complémentaires, comme l'atténuation de la dérive de pulvérisation ou l'accueil d'auxiliaires de culture. Pour les intégrer pleinement dans une démarche d'aménagement du bassin versant visant à limiter le risque de contamination des eaux de surface par les produits phytosanitaires, un diagnostic tenant compte des caractéristiques locales de chaque haie doit toutefois être mené pour identifier les dysfonctionnements potentiels. ■

Les auteurs

**Nadia CARLUER, Véronique GOUY
et Lucie LIGER**

Irstea, UR RIVERLY,
centre de Lyon-Villeurbanne,
5 Rue de la Doua, CS 20244,
F-69625 Villeurbanne Cedex, France.

✉ nadia.carluer@irstea.fr

✉ veronique.gouy@irstea.fr

✉ lucie.liger@irstea.fr

EN SAVOIR PLUS...

- ✉ **AUBERTOT, J.-N., BARBIER, J.-M., CARPENTIER, A., GRIL, J.-J., GUICHARD, L., LUCAS, P., SAVARY, S., SAVINI, I., VOLTZ, M.**, 2005, *Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport*, INRA et Cemagref, 64 p.
- ✉ **CALVET, R., TERCE, M., ARVIEU, J.-C.**, 1980, Mise au point bibliographique. Adsorption des pesticides par les sols et leurs sédiments. II - Les facteurs de l'adsorption, *Ann. agron.*, n° 31, p. 125-162.
- ✉ **CARLUER, N., CATALOGNE, C., DAGES, C., TOURNEBIZE, J.**, 2017, Aménager le territoire et gérer les aménagements : les zones tampons sèches et humides, les fossés pour lutter contre les pollutions diffuses par les produits phytosanitaires dans les aires de captage, *Innovations Agronomiques*, INRA, n° 57, p. 117-139.
- ✉ **CATALOGNE, C., LAUVERNET, C., CARLUER, N.**, 2018, *Guide d'utilisation de l'outil BUVARD* pour le dimensionnement des bandes tampons végétalisées destinées à limiter les transferts de pesticides par ruissellement AFB*, Irstea, 66 p.
- ✉ **CATALOGNE, C., LE HÉNAFF, G.**, 2017, *Guide d'aide à l'implantation des zones tampons pour l'atténuation des transferts de contaminants d'origine agricole*, élaboré dans le cadre du groupe technique « Intégration des zones tampons dans la gestion des bassins versants », Irstea-ONEMA, 68 p.
- ✉ **CORPEN**, 1999, *Désherbage. Éléments de raisonnement pour une maîtrise des adventices limitant les risques de pollution des eaux par les produits phytosanitaires*, CORPEN, Groupe Phytopratt, 160 p.
- ✉ **FOLLAIN, S.**, 2005, *Effet du réseau bocager sur l'organisation des sols. Redistributions des sols et stockage en carbone organique*, Sciences de la Terre, Agrocampus - École nationale supérieure d'agronomie de Rennes.
- ✉ **GHAVAZI, R., THOMAS, Z., HAMON, Y., MARIE, J.-C., CORSON, M., MEROT, P.**, 2008, Hedgerow impacts on soil-water transfer due to rainfall interception and root-water uptake, *Hydrological Processes*, n° 22, p. 4723-4735.
- ✉ **GOUY, V.**, 2012, *Transferts hydriques superficiels des substances phytosanitaires utilisées en agriculture : dynamique de mobilisation, atténuation possible et impact sur les cours d'eau*, Irstea, Université Claude Bernard Lyon 1, 153 p.
- ✉ **GOUY, V., GRIL, J. J., LACAS, J.-G., BOIVIN, A., CARLUER, N.**, 2008, Contamination des eaux de surface par les pesticides et rôles des zones tampons pour en limiter le transfert : état des connaissances et conséquences pour l'action, *Ingénieries-EAT, numéro spécial*, p. 49-63, disponible sur : <http://www.set-revue.fr/sites/default/files/articles-eat/pdf/DG2008-PUB00024195.pdf>
- ✉ **GRIMALDI, C., FOSSEY, M., THOMAS, Z., FAUVEL, Y., MEROT, P.**, 2012, Nitrate attenuation in soil and shallow groundwater under a bottomland hedgerow in a European farming landscape, *Hydrological Processes*, n° 26, p. 3570-3578.
- ✉ **LACAS, J.-G.**, 2005, *Processus de dissipation des produits phytosanitaires dans les zones tampons enherbées. Étude expérimentale et modélisation en vue de limiter la contamination des eaux de surface*, Université Montpellier II, Sciences et techniques du Languedoc.
- ✉ **MEROT, P., GASCUEL-ODOUX, C., WALTER, C., ZHANG, X., MOLÉNAT, J.**, 1999, Influence du réseau de haies des paysages bocagers sur le cheminement de l'eau de surface, *Revue des Sciences de l'Eau*, n° 12(1), p. 23-44.
- ✉ **THOMAS, Z., GHAVAZI, R., MEROT, P., GRANIER, A.**, 2012, Modelling and observation of hedgerow transpiration effect on water balance components at the hillslope scale in Brittany, *Hydrological Processes*, n° 26, p. 4001-4014.
- ✉ **VOLTZ, M., LOUCHART, X.**, 2002, *Les facteurs clés de transfert des produits phytosanitaires vers les eaux de surface. Comment préserver les cours d'eau tout en préservant les cultures ?*, Paris.



Des haies et des talus pour limiter les transferts hydriques de pesticides...