

**AFPP – 23<sup>e</sup> CONFÉRENCE DU COLUMA**  
**JOURNÉES INTERNATIONALES SUR LA LUTTE CONTRE LES MAUVAISES HERBES**  
**DIJON – 6, 7 ET 8 DÉCEMBRE 2016**

**DIAGNOSTIC ET ATTÉNUATION DES TRANSFERTS HYDRIQUES DES PESTICIDES**  
**AU SEIN D'UN BASSIN VERSANT AGRICOLE**

G. LE HÉNAFF <sup>(1) (3)</sup>, C. CATALOGNE <sup>(1) (3)</sup>, N. CARLUER <sup>(1)</sup>, V. GOUY <sup>(1)</sup>, C. BILLY <sup>(2) (3)</sup>  
C. LAUVERNET <sup>(1)</sup> et L. LIGER <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Irstea, centre de Lyon-Villeurbanne, équipe Pollutions Diffuses, 69626 Villeurbanne cedex - France  
*guy.le-henaff@irstea.fr - le-henaff.guy@orange.fr, nadia.carluer@irstea.fr*

<sup>(2)</sup> ONEMA, Office national de l'eau et des milieux aquatiques, 94 300 Vincennes - France

<sup>(3)</sup> Groupe Technique national Zones Tampons : [www.zonestampons.onema.fr](http://www.zonestampons.onema.fr)

## **RÉSUMÉ**

L'utilisation durable des produits phytosanitaires implique de s'intéresser aux transferts des molécules et aux zones tampons. Ces dispositifs font partie des « outils de remédiation », nécessaires pour répondre aux exigences de la Directive Cadre sur l'Eau, en complément des actions sur la réduction des usages. Des publications sur les conditions de mises en œuvre des zones tampons font clairement apparaître l'importance de la réalisation d'un diagnostic local préalable pour obtenir une efficacité optimale. Il faut identifier les chemins de l'eau, et bien comprendre le fonctionnement hydrologique des parcelles et des versants, en tenant compte de nombreux éléments dont la topographie, les pédoclimats et les systèmes de cultures. En effet un dispositif tampon efficace doit être bien adapté au contexte local, bien localisé et bien dimensionné pour intercepter, infiltrer ou retenir les flux hydriques et ainsi permettre la dilution, la rétention et la dégradation des pesticides transportés en son sein. L'approche validée de diagnostic-optimisation consiste à partir d'une description des transferts à proposer un ensemble cohérent de solutions adaptées.

Mots-clés : pesticides, phytosanitaires, transferts hydriques, diagnostic, ruissellement, zones tampons

## **ABSTRACT:**

### **DIAGNOSIS AND MITIGATION OF PESTICIDE TRANSFERS IN WATER WITHIN AN AGRICULTURAL CATCHMENT**

The sustainable use of pesticides requires focusing on molecules transfer and buffer zones. These devices are part of "mitigation tools" necessary to meet the requirements of the Water Framework Directive. The publications on the conditions of implementation of buffers zones clearly show the importance of performing a local diagnosis in order to assure an optimal efficiency. First, the water pathways must be identified, and which therefore implies to understand the hydrological behavior of fields and (hill) slopes, taking into account the numerous involved parameters, including topography, soil and climate characteristics as well as cropping systems. Indeed, to be effective a buffer zone must intercept, retain or infiltrate runoff water flows and dissipate transported pesticides. The enabled proposed approach "diagnosis-optimization" is based on a description of the relevant transfers to be addressed so as to offer a consistent set of solutions.

Keywords: pesticides, water transfers, diagnosis, runoff, buffer zones

## INTRODUCTION

L'utilisation durable des produits phytosanitaires en parcelles agricoles implique de s'intéresser à la dispersion des molécules après leur application aux champs et de leurs métabolites vers les autres milieux : zones habitées, milieux aquatiques, milieux terrestres naturels ou semi naturels. Par ailleurs, l'application de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) vise le bon état écologique des cours d'eau. Le risque de non atteinte de ce bon état est encore significatif en France en 2016 pour de nombreuses masses d'eau, notamment à cause de la contamination de la ressource en eau par les pollutions diffuses, nitrates et produits phytosanitaires principalement. Dans ce contexte, les zones tampons sont des éléments du paysage et des infrastructures agro-écologiques existantes ou créées qui sont en mesure de retenir ces polluants, d'être un lieu de biodégradation active et donc de limiter les transferts hydriques de surface vers la ressource en eau.

La mise en œuvre en France depuis 2011, des scénarii européens du groupe de travail « Focus Surface Water » pour l'évaluation du risque lié aux substances phytosanitaires va d'ailleurs dans ce sens et impliquera dans un avenir très proche une plus grande mise en œuvre des mesures de gestion des risques de ruissellement à l'échelle parcellaire. Dans de nombreuses situations il sera nécessaire de tenir également compte des écoulements dans les versants et de l'organisation spatiale des différents pédopaysages pour atteindre une efficacité suffisante de limitation des transferts : écoulements provenant des parcelles situées en amont, souvent constitués de ruissellements déjà concentrés. Pour être à la hauteur des exigences de la DCE, la profession agricole et l'ensemble de ses partenaires doivent s'approprier encore davantage les enjeux liés aux contaminations des milieux par les pesticides, s'investir plus largement dans des démarches actives, collectives et d'envergure et être force motrice au sein de jeux d'acteurs souvent complexes et parfois contre-productifs.

Des mesures simples, rustiques, souvent peu onéreuses peuvent être mobilisées très facilement et rapidement, même si certains contextes nécessiteront des dispositifs plus complexes (secteurs hydromorphes drainés, vignobles pentus, etc.). Cette approche est d'autant plus justifiée que la France présente de nombreuses petites régions agricoles sensibles aux transferts hydriques de pesticides vers les eaux de surface et les milieux aquatiques. Il s'agit des régions ayant des caractéristiques géologiques et pédologiques induisant des transferts hydriques latéraux importants. Elles présentent généralement une forte pression en termes d'applications de produits phytosanitaires et plusieurs des caractéristiques physiques suivantes : un réseau hydrographique dense, des sols ruisselants (pour cause de battance ou de saturation des sols), du drainage ou la présence d'hydromorphie sur des surfaces importantes, des sols sensibles à la compaction, de nombreux écoulements concentrés en coins de parcelles, etc.

Ces différentes caractéristiques locales et paysagères induisent des cheminements de l'eau spécifiques qu'il est essentiel de bien diagnostiquer pour positionner et dimensionner au mieux les zones tampons. Pour atténuer les pollutions diffuses de manière efficace, ces dernières doivent être en mesure d'intercepter, infiltrer ou retenir les flux hydriques et les pesticides transportés sous forme soluble ou adsorbés aux matières en suspension. Or, et grâce notamment aux travaux du Comité d'Orientation pour des Pratiques agricoles respectueuses de l'ENVironnement (CORPEN), complétés et renforcés par d'autres structures et notamment l'Irstea et de l'ensemble des partenaires du Groupe Technique national Zones Tampons, nous avons maintenant, en France, les connaissances et les outils permettant d'appuyer une politique active et efficace de limitation des transferts de phytosanitaires. Dans ce sens, l'approche validée de « diagnostic-optimisation » présentée ici consiste, pour un territoire et à partir d'une description argumentée des processus de transferts, à proposer un ensemble cohérent de solutions localement adaptées.

On souligne que cette approche bénéficie en particulier de travaux et réflexions menés depuis plus de 30 ans et qu'il est possible, aujourd'hui, de traduire par une démarche opérationnelle comprenant plusieurs étapes de diagnostics et de propositions d'actions, que nous allons évoquer dans cette communication.

## DES ENJEUX QUI PERDURENT

### LES POLLUTIONS DIFFUSES : UN RISQUE TOUJOURS IMPORTANT

Contrairement aux pollutions ponctuelles localisées dans l'espace, les pollutions diffuses sont issues de l'application de produits sur une surface importante. Elles peuvent être causées par des transferts plus ou moins directs vers la ressource en eau, en relation avec les épisodes pluvieux postérieurs aux applications. Ce caractère diffus peut rendre difficile la limitation des transferts, car les bassins versants peuvent s'étendre sur plusieurs centaines voire quelques milliers de kilomètres carrés pour certaines aires d'alimentation de captages en eaux de surface. Pour ce qui concerne les produits phytosanitaires, l'expertise scientifique collective (ESCo) INRA-Cemagref réalisée en 2005 a mis en évidence trois types de solutions pour limiter les risques liés à l'utilisation des pesticides dans l'agriculture :

- Réduire l'utilisation des produits phytosanitaires par des pratiques et des systèmes de cultures différents : lutte non chimique, productions moins dépendantes en intrants, choix de rotations, sélection de variétés plus résistantes, etc.
- Raisonner l'utilisation des pesticides. Cela passe principalement, si une intervention s'avère nécessaire, par le choix des substances actives (doses efficaces, prévention des résistances), les avertissements via les bulletins de santé des végétaux (émergences, seuils d'infestation des ravageurs), les outils d'aide à la décision, etc.
- La prévention et la limitation des transferts qui peut s'appuyer sur divers volets : technologique (buse antidérive, dégradation et solubilité des produits), techniques (travail du sol et type de couverture du sol, organisation spatiale du parcellaire, gestion de l'irrigation), et paysager (mise en place de zones tampons et d'aménagements dispersifs pour limiter le transfert hydrique).

Les pistes concernant les évolutions de système et un raisonnement accru de l'emploi des pesticides ont formé le socle du plan Ecophyto I. Les actions visant à réduire les risques de transferts sont quasi inexistantes de ce plan d'envergure, visant à une moindre dépendance aux phytosanitaires. Ce fait est regrettable alors que simultanément, avec l'arrivée de mesures réglementaires de gestion vis-à-vis des risques de ruissellement (dispositif végétalisé permanent de 20 m : DVP de 20 m), il va être nécessaire de développer en France et en Europe, une solide culture des conseillers agricoles et des praticiens vis-à-vis du ruissellement en parcelles agricoles. Il est donc souhaitable que ces aspects soient mieux pris en compte dans le plan Ecophyto II.

En Rhône-Alpes, les sites suivis par Irstea Lyon-Villeurbanne (notamment en 2014 et 2015) ont montré pour les pollutions diffuses, l'actualité et l'acuité des enjeux liés aux ruissellements. En effet, en sortie immédiate de parcelles et en situations favorables aux transferts rapides vers les eaux superficielles, des pics de pollutions des eaux de ruissellement supérieurs à 150 µg/l, voire 200 µg/l de substances actives de phytosanitaires (concentrations totales) ont été observés en Dombes et en Beaujolais. Ces transferts hydriques rapides de molécules phytosanitaires sont donc des vecteurs importants de pollutions diffuses des cours d'eau. Le transport sous forme dissoute est majoritaire (Voltz et Louchart, 2001) mais certaines molécules sont entraînées par les particules de terre ou de matière organique en suspension. La problématique pesticide n'est en général pas le seul enjeu à considérer sur ces sites car en cas d'érosion, la perte de sol implique une atteinte à la fertilité de la parcelle, provoque des coulées de boues sur les routes et parfois les villages, le comblement des fossés et/ou le colmatage des frayères dans les cours d'eau. Enrayer ces transferts au plus près de leur genèse est donc important.

### PROCESSUS ET TYPOLOGIE DU RUISSÈLEMENT

On peut rencontrer différents processus d'écoulement au sein des parcelles ou sur un bassin versant.

a- Le ruissellement de surface, qui peut être divisé en plusieurs types selon son origine :

- Le ruissellement hortonien, provenant d'un apport d'eau supérieur à la capacité d'infiltration du sol. On parle aussi de ruissellement par refus d'infiltration.
- Le ruissellement sur sol saturé qui survient lorsque l'eau de pluie ou de ruissellement provenant de l'amont rencontre une surface saturée en eau et ne peut donc pas s'infiltrer à cet endroit.
- Le ruissellement par exfiltration : le niveau de la nappe superficielle dépasse celui du sol et l'eau se met alors à ruisseler. Cette situation est souvent observée en coteau (viticole ou non) lors des affleurements des couches imperméables (marnes, argiles, molasses, etc.).

- b- Les écoulements de sub-surface (hypodermiques) adviennent à une faible profondeur dans le sol. L'écoulement sub-superficiel est dû à la présence d'une rupture de perméabilité à faible profondeur au travers de laquelle l'eau ne peut s'écouler rapidement. Cela provient notamment de substrat géologique ou horizons imperméables, de compactions ou lissages liés aux récoltes en conditions humides et au travail du sol. L'eau circule donc latéralement sur cette couche imperméable. Ils peuvent également être dus au drainage agricole, qui permet d'évacuer en sols hydromorphes, l'eau en excès dans le sol via un réseau enterré de tuyaux percés, qui collecte et transporte l'eau hors des parcelles.
- c- Enfin, l'eau peut s'infiltrer en profondeur jusqu'à un aquifère et suivre par la suite un écoulement de nappe profonde ou, parfois, dans le cas de nappes alluviales, être en connexion avec la rivière.

Figure 1 : Circulation de l'eau dans une parcelle.  
Water pathways in the field (CORPEN, 1999)

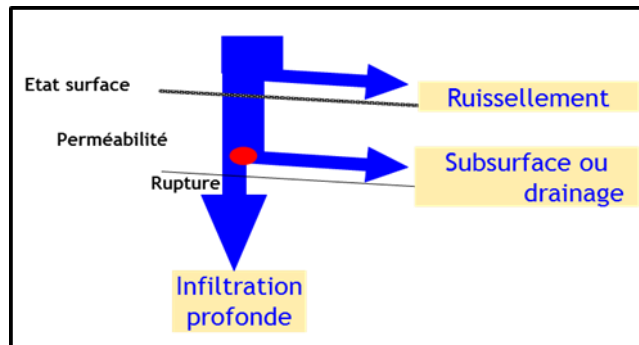


Figure 2 : Identification et typologie du ruissellement (TOPPS-Prowadis, 2014)  
Types and signs of runoff



Les formes de ruissellement sont illustrées par la figure 2, extraite des publications de TOPPS-Prowadis. A la parcelle, les formes de ruissellement varient selon les sols, la végétation, la rugosité de surface, le travail du sol, la pente, ou la saison : sols gorgés d'eau en hiver, orages et pluies intenses au printemps et en été... À l'échelle du versant, les chemins de l'eau et la concentration du ruissellement s'organisent selon la topographie et l'organisation paysagère générée par la main de l'homme (habitations, infrastructures routières, formes et longueurs des parcelles, chemins, éléments paysagers conservés ou réimplantés : haies et bosquet).

Le type d'écoulement à l'origine du transfert des pesticides influe fortement sur l'ampleur de ces transferts. En effet, une des spécificités des pesticides est leur capacité à être dégradés ou adsorbés

(retenus) sur les agrégats de sol ou la végétation. Une des constantes recherchée au sein des zones tampons est de permettre la rétention et la dégradation biologique des molécules par l'atténuation des transferts hydriques rapides : soit en ralentissant et dispersant les écoulements et en favorisant ainsi l'infiltration à travers la matrice du sol, soit en retenant l'eau ruisselée au moins quelques jours au sein de petites retenues de surface : zones tampons humides artificielles (ZTHA), ouvrages de rétention talus ou merlons de rétentions. Ces différents dispositifs sont rapidement détaillés dans la partie suivante.

## DISCUSSIONS : LIMITER LES POLLUTIONS DIFFUSES

### LE RÔLE DES ZONES TAMPONS

Le rôle d'une zone tampon est avant tout d'intercepter les flux hydriques chargés de contaminants provenant des parcelles émettrices avant qu'ils n'atteignent les milieux aquatiques récepteurs. On parle alors d'atténuation hydrique (bien que l'atténuation aérienne puisse également être recherchée dans le cas de la dérive de pulvérisation en bordure de cours d'eau ou de protection des riverains). L'aptitude d'une zone tampon à intercepter et atténuer tel ou tel type de transfert dépend toutefois d'un certain nombre de facteurs à l'origine d'une plus ou moins bonne efficacité (positionnement, conception, dimensionnement, état hydrique du sol selon la saison, bon entretien). Il existe d'une part les zones tampons sèches et végétalisées (bandes enherbées, bois, ripisylves, ...), pertinentes dans le cas du ruissellement à la surface du sol, et d'autre part les zones tampons humides, plus adaptées aux écoulements concentrés (coteaux viticoles) ou pour traiter les eaux de sub-surface issues d'un réseau de drainage. De nombreux éléments liés à la topographie ou aux pratiques agricoles peuvent perturber leur fonctionnement, et dès lors limiter leur efficacité.

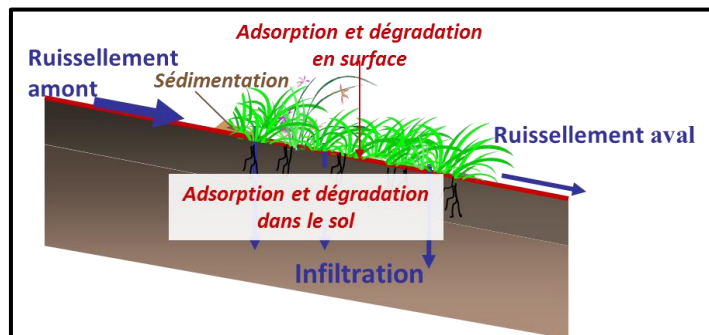
#### Zones tampons sèches, rôle prédominant de l'infiltration puis de la biodégradation

Les zones tampons sèches sont des dispositifs paysagers de natures très diverses. L'exemple le plus commun et le plus connu est celui des bandes enherbées rivulaires de 5 mètres (éco-conditionnalité liée à la Politique Agricole Commune) pouvant atteindre 10 m (directive Nitrates). Mais il peut aussi s'agir de bois, haies, prairies permanentes, etc. Elles peuvent faire partie des mesures proposées dans les programmes d'action, et devraient être systématiquement prises en compte dans la caractérisation de la vulnérabilité des Aires d'Alimentation de Captages.

Les zones tampons végétalisées agissent sur les pollutions diffuses de trois manières (Figure 3) :

- Elles atténuent les mouvements d'eau superficiels (qui peuvent contenir des polluants) issus de leur surface contributive, à savoir les parcelles situées en amont qui collectent l'eau. Grâce à une rugosité et une perméabilité plus importantes que celles de la plupart des sols cultivés (importante densité foliaire et racinaire) et à une structuration du sol liée à la forte teneur en matière organique dans l'horizon de surface (végétation pérenne), les zones tampons sèches favorisent l'infiltration au détriment des transferts latéraux de surface.
- Elles retiennent les matières en suspensions (MES) issues de l'érosion hydrique, qui peuvent entraîner des polluants adsorbés. Toutefois, le rôle de la sédimentation n'est en général pas prépondérant dans l'efficacité des zones tampons.
- Elles limitent les effets de la dérive atmosphérique (transfert aérien des substances pulvérisées vers les cours d'eau) en éloignant l'application des produits phytosanitaires des cours d'eau. Elles complètent aussi l'effet « d'écran » apporté par la ripisylve lorsque celle-ci est présente.

Figure 3 : Bandes enherbées, rôle majeur de l'infiltration sur la rétention des pesticides  
Buffer zone, major role in infiltration on the pesticides retention (Gril et Le Hénaff, 2010)

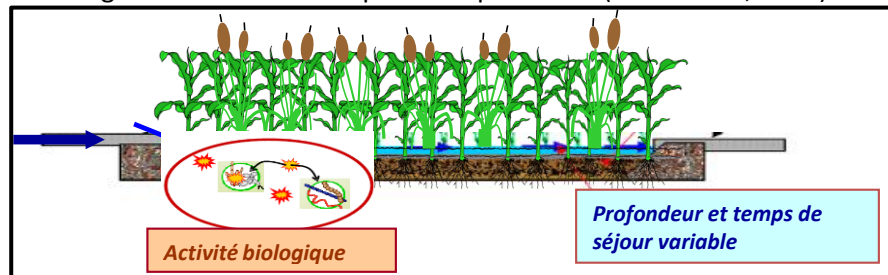


- Et bien sûr, elles ont un rôle majeur d'atténuation, grâce à la rétention physico-chimique et surtout aux processus de biodégradation des substances actives phytosanitaires. En France, la capacité des bandes enherbées à retenir, puis dégrader les pesticides contenus dans l'eau de ruissellement peut être importante : d'après des expérimentations en parcelles de longueurs modérées (25 – 50 m), elle est habituellement supérieure à 50 % et fréquemment de 90 %. Attention toutefois, elle peut aussi être beaucoup plus faible en l'absence de conditions favorables, de sous-dimensionnement, de mauvais entretien ou de conditions climatiques inhabituelles.

#### Zones tampons humides artificielles, rôle prédominant du temps de séjour et de la température

En présence d'écoulements hydrauliquement concentrés, qu'il s'agisse de ruissellement ou d'eaux de drainage, un dispositif de type plan d'eau sera généralement plus adapté. Dans ce cas, c'est le temps de séjour de l'eau (et des contaminants qu'elle véhicule) qui constitue le principal critère d'efficacité. Les processus de rétention et de dégradation au sein du dispositif, qu'ils soient biologiques ou abiotiques, seront favorisés par la présence de végétation spécifique (macrophytes) qui permet d'entretenir des conditions aérobies au contact de la rhizosphère et apporte au milieu la matière organique nécessaire à une bonne activité biologique (Figure 4).

Figure 4 : ZTHA, rôle majeur de la biodégradation pour la dissipation des produits phytosanitaires. Constructed wetland, major role in the biodegradation for the dissipation of pesticides (Tournebiz, 2015)



#### **PRÉVENIR ET ATTÉNUER LES RUISSELLEMENTS : ZONES TAMPONS SÈCHES (BANDES ENHERBÉES)**

##### Intérêt des zones tampons enherbées

L'agriculteur n'a pas toujours la possibilité d'agir sur l'ensemble des différents facteurs favorisant les transferts, mais le ruissellement et l'érosion peuvent néanmoins être limités voire annulés par la mise en œuvre de mesures appropriées comme le travail du sol et le maintien de résidus de récolte en surface, les rotations en mosaïque des cultures, le maintien et la création de zones tampons fonctionnelles, la protection des cours d'eau et l'atténuation des courts-circuits induisant des transferts rapides d'eaux contaminées. Cela passe donc par des modifications des pratiques agricoles permettant la prévention du ruissellement dans les parcelles. Pour que ces modifications soient efficaces, il est indispensable de comprendre la nature et l'organisation des écoulements au sein des versants agricoles en intégrant les processus parcellaires, les connexions inter-parcellaires et le rôle des éléments du paysage. Lorsqu'il est possible d'intégrer de façon optimale les éléments du paysage et les zones tampons, il est montré que ces mesures d'hydrauliques douces, souvent peu onéreuses et basées sur des techniques de génie végétal et écologique permettent d'atténuer les transferts hydriques de contaminants. Le rôle des bandes enherbées, permettant une infiltration superficielle du ruissellement diffus (figure 3), illustre bien cette efficacité couplée à une rusticité évidente du dispositif.

##### Dysfonctionnements possibles

Cependant cette faculté de remédiation est liée à l'usage de bonnes pratiques pour assurer et préserver la bonne perméabilité des zones enherbées : pas de compaction, bonne connexion entre la parcelle en la zone herbeuse, absence de courts-circuits : rigoles, traces de roues, busage et drainage. La façon dont l'eau arrive et traverse la zone tampon végétalisée impacte, en effet, fortement son fonctionnement et conditionne son efficacité. C'est lorsque l'écoulement atteint la zone tampon sèche de manière diffuse que l'efficacité de rétention et de dégradation des produits phytosanitaires est maximale. Toutefois,

certaines caractéristiques locales, liées à la topographie du milieu ou à l'activité humaine (agriculture, voirie etc.), vont induire la concentration des flux hydriques.

Tout d'abord, les écoulements peuvent être concentrés dès leur entrée sur la zone tampon, submergeant la capacité d'infiltration du sol en un point tandis que le reste de la zone tampon ne sera pas sollicité. Les principales causes de concentration sont la topographie (talwegs), la micro-topographie (coins de parcelles « creusées » par des décennies de déplacement de la terre par le labour) et les pratiques culturales (sens du semis, tournières, rigoles et dérayures, traces de roues et ornières). De plus, la concentration du ruissellement peut s'accroître peu à peu selon la nature du sol, par la formation de rigoles puis de ravines d'érosion.

Les cas de dysfonctionnement les plus importants sont liés aux courts-circuits, acheminant l'eau directement vers le cours d'eau ou point d'eau sans qu'elle ne passe au travers de la zone tampon. C'est le cas des réseaux de drainage enterrés, des fossés, ou encore des dispositifs anti-érosifs (buses bétonnées) en vignobles de coteaux.

Enfin, l'état de la zone tampon va aussi influencer son efficacité. C'est essentiellement une diminution de la perméabilité qui va restreindre son bon fonctionnement. Le tassement par les engins, déjà évoqué, ou par les animaux, une sédimentation trop importante (dépôt de terre) peuvent être responsables d'une diminution de sa conductivité hydraulique. Par ailleurs, si le sol est sujet à un engorgement temporaire ou permanent, il arrivera à saturation plus rapidement et ne pourra retenir qu'une partie de l'écoulement.

#### **DÉMARCHE D'OPTIMISATION DES ZONES TAMPONS SUR UN TERRITOIRE**

L'implantation d'une zone tampon et plus généralement l'aménagement d'un bassin versant dans un but de protection des ressources en eaux vis-à-vis des pollutions diffuses requiert de réaliser un certain nombre d'études préalables et de diagnostics qui visent à bien identifier le fonctionnement hydrologique et les enjeux pour le territoire en fonction des pratiques et des conditions pédoclimatiques. Cela permet de déterminer, selon l'objectif recherché, où et comment positionner au mieux les différents dispositifs pour garantir leur efficacité.

##### Des travaux du CORPEN à l'aménagement de territoire à faible émission de pesticides

Dès les années 90, le CORPEN a initié de manière innovante des démarches de diagnostics, qui actuellement relayées par les actions des partenaires du Groupe Technique National Zones Tampons, ont permis la constitution d'une chaîne cohérente de diagnostics et la constitution d'une boîte à outils sur les zones tampons ([www.zonestampons.onema.fr](http://www.zonestampons.onema.fr)). Ces méthodologies permettent d'identifier et de décrire les fonctionnements hydriques et la vulnérabilité des territoires, puis de les compléter par des diagnostics rivulaires et un arbre d'aide à la décision permettant l'intégration des zones tampons dans les versants (bandes enherbées, zones tampons humides artificielles (ZTHA), dispositifs dispersifs,...) (Gril et al, 2010). Un « guide d'aide à l'implantation des zones tampons pour l'atténuation des transferts de contaminants d'origine agricole » vient d'être élaboré dans le cadre des activités du Groupe Technique "Zones Tampons" (Catalogne et Le Hénaff, 2015). À ce jour, nous pouvons traduire les travaux et réflexions menées depuis près de vingt-cinq ans en une démarche opérationnelle s'appuyant sur une boîte à outils bien garnie. À chaque étape correspond un ensemble de guides méthodologiques destinés aux porteurs de projet (et leurs prestataires) souhaitant mobiliser les zones tampons sur leur territoire.

La démarche peut se résumer en différentes phases importantes (figure 5) :

- Un diagnostic hydrologique des écoulements et transferts de contaminants à l'échelle du bassin versant (ou d'une aire d'alimentation de captage) de manière à comprendre le fonctionnement hydrique des versants et identifier puis hiérarchiser les zones les plus vulnérables (c'est-à-dire déterminer là où il sera nécessaire d'intervenir en priorité),
- Un état des lieux de l'existant de manière à identifier les zones tampons déjà en place, déterminer leur degré d'efficacité, les causes de leur dysfonctionnement actuel et les solutions correctives possibles puis identifier les manques et les opportunités offertes par le territoire pour l'aménagement de dispositifs complémentaires (Bernard et al, 2014),



- L'implantation proprement dite, en respectant les règles de conception propres à chaque type de dispositif et notamment en ajustant le dimensionnement au contexte pédoclimatique et aux surfaces de parcelles générant le ruissellement en amont (Carluer et al, 2011)

Figure 5 : Étapes de l'intégration des zones tampons et plan d'action au sein d'un bassin versant.  
Stages of the integration of buffer zones and action plan within a catchment.

<b>Pollutions diffuses dans les territoires à enjeux « eaux »</b> (bon état DCE, Aires d'alimentation de Captages)
<b>Approche de diagnostic – optimisation des zones tampons pour des bassins versants dotés de capacités de résilience permettant de faibles émissions de contaminants.</b>
<b>Étape 0 : comprendre l'intérêt et le fonctionnement des zones tampons</b> Les fonctions environnementales des zones tampons : les bases scientifiques et techniques des fonctions de protection des eaux (CORPEN, 2007)
<b>Étape I : Analyse des dispositifs tampons existants et du fonctionnement hydrologique au sein du territoire</b>
<b>Étape I a : pré-diagnostic permettant de comprendre le fonctionnement hydrologique</b> : données topographiques et géo-pédologiques, agro-systèmes et travail du sol, aménagements (drainage, assainissement, systèmes anti-érosifs, infrastructures de transports) Diagnostics CORPEN et instrumentation de cours d'eau, fossés et réseaux de drainage
<b>Étape I b : zones tampons et éléments du paysage présents</b> (positionnement, efficacité effective, dysfonctionnements hydrauliques) Guide de diagnostic de l'efficacité des zones tampons rivulaires. (Irstea 2010)
<b>Étape II : Elaboration d'un plan local d'actions et d'aménagements afin de renforcer ou d'apporter de fortes capacités de résilience au sein du versant agricole :</b> Eau (qualité et quantité); Biodiversité et Trame Verte et Bleue; atténuation de l'Erosion, des Coulées de boues, des Crues; Approche Paysagère; Énergie renouvelable...
<b>Étape II a : réflexion agro-paysagère large</b> tenant compte des besoins locaux de remédiation et de la multifonctionnalité des différents objets agro-écologiques présents ou souhaitables.
<b>Étape II b : Propositions d'optimisation des zones tampons</b> : dispositifs adaptés et nouvelles implantations pertinentes, bonnes pratiques de gestion des zones tampons, choix optimisé d'un dimensionnement (largeur adaptée de bandes enherbées, dimensions des zones tampons humides artificielles, tailles des talus et fascines,..) Guide de mise en œuvre de d'optimisation des zones tampons sur un bassin versant. (Irstea 2010 et 2015) Guide de dimensionnement des zones tampons enherbées ou boisées pour réduire la contamination des cours d'eau par les produits phytosanitaires. (Irstea 2011)
Se référer à la page : <a href="http://zonestampons.onema.fr/mettre-en-place-une-zone-tampon">http://zonestampons.onema.fr/mettre-en-place-une-zone-tampon</a>

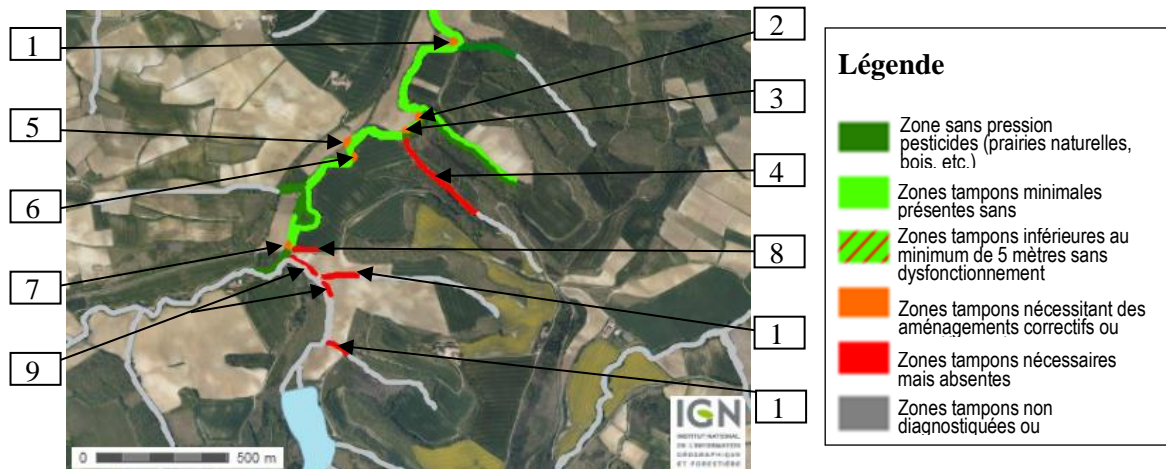
#### Retour d'expérience à l'échelle d'un petit bassin versant

Nous avons réalisé un test de validation du diagnostic de terrain en 2012. La figure 6 présente le type de résultats que l'on peut obtenir après l'utilisation successive des guides de diagnostics zones tampons d'Irstea Lyon. Il s'agit d'une portion du Sou, un affluent de l'Aude qui a été étudié dans le cadre du projet de protection de l'AAC de Maquens (dans l'Aude près de Carcassonne). Les couleurs chaudes bordant le réseau hydrographique sur la figure indiquent des dysfonctionnements, décrits et accompagnés des préconisations dans le tableau de la figure 6 qui accompagne la photo-carte issue de Géoportail. Le Sou est un cours d'eau principalement entouré de grandes cultures et de quelques vignobles. Les écoulements de surfaces sont importants, notamment le ruissellement hortonien lorsque surviennent des orages, fréquents au printemps dans le Sud-Ouest de la France. Le cours d'eau du Sou est relativement bien gainé par des zones végétalisées, néanmoins quelques problèmes ont été détectés en 2012. En particulier, les petits affluents ne présentaient pas de zones tampons rivulaires, et constituaient par conséquent une forme de courts-circuits rapides. Certaines parcelles nécessitaient l'implantation de zones tampons en coin, et plusieurs phénomènes de ruissellement concentré nécessitaient la mise en place d'éléments dispersifs ou d'élargissement de la zone tampon.



Figure 6 : Diagnostic des zones tampons sur une portion du bassin versant du Sou, affluent de l'Aude (Bernard et al, 2014) (fond de carte : Géoportail, 2012).

Buffer zones diagnosis on a portion of the catchment of Sou, a tributary of the Aude river



	Dysfonctionnements	Préconisations de l'arbre de décision
1	Ruissellement légèrement concentré en coin, sans hydromorphie ou omières	ZT en coin
2	Thalweg important, absent dans la ZT, ZT étroite	Aménagements dispersifs
3	Thalweg important, absent dans la ZT, ZT étroite	Aménagements dispersifs
4	Petit cours d'eau sans ZT	Implanter ZT (à dimensionner)
5	Écoulement de versant nettement concentré, sans thalweg dans la ZT, ZT étroite	Aménagements dispersifs
6	Écoulement de versant nettement concentré, sans thalweg dans la ZT, ZT étroite	Aménagements dispersifs
7	Ruissellement légèrement concentré en coin, sans hydromorphie ou omières	ZT en coin
8	Fossé de voirie à débit important	Enherbement ou bassin de rétention-infiltration
9	Pas de ZT, parcelle à forte pente	Implanter ZT (à dimensionner)
10	Ruisseau busé sous la parcelle, dont le thalweg persiste. Bas de thalweg sans ZT	Aménagements dispersifs+ZT ou chenal enherbé
11	Petit cours d'eau sans ZT	Implanter ZT (à dimensionner)

## CONCLUSION ET POINTS D'ATTENTION

Les zones tampons sont plus particulièrement utiles lorsque les écoulements s'effectuent en surface du sol ou à faible profondeur, que la ressource en eau soit en surface ou souterraine. Elles permettent de limiter le transfert hydrique de surface et de sub-surface des polluants provenant des parcelles cultivées en amont, par rétention puis dégradation des molécules retenues. Elles s'avèrent donc pertinentes au sein des bassins versants pour la protection des milieux aquatiques (« bon état écologique » de la DCE). Par ailleurs, compte tenu des enjeux et de leur complémentarité vis-à-vis des actions sur la réduction des usages, leur intégration paraît indispensable sur les Aires d'Alimentation de Captages (AAC) à alimentation de surface ou mixte.

L'efficacité des zones tampons pour retenir et dégrader les produits phytosanitaires est en général élevée, mais elle peut varier fortement en fonction des conditions de pente, de sol, de l'hydrologie de versant, ... ce qui rend l'approche quantitative difficile en tout point du territoire français et implique des adaptations spécifiques. Il est donc nécessaire de passer par une approche à l'échelle locale qui idéalement s'intéresse à l'échelle parcellaire et à celles des petits bassins versants. Après un travail préalable de compréhension du fonctionnement hydrique local (perméabilité des sols, hydrologie des fossés et cours d'eau, etc.), la mise en œuvre des démarches de diagnostic permet d'établir un état des lieux des zones tampons existantes et de leur fonctionnement. Il est ensuite possible de dégager des préconisations afin d'optimiser leurs actions de limitation du transfert des produits phytosanitaires. Il est essentiel de s'appuyer sur des données de qualité ou de les acquérir si nécessaire (pédologie, drainage, etc.). La tendance actuelle de donner un poids excessif aux « outils SIG » ne doit pas se faire au détriment du travail de terrain indispensable pour la compréhension des processus locaux. L'utilisation de ces démarches est complexe sur des bassins versants très étendus. Il faut dans ce cas effectuer le diagnostic sur des zones ciblées au sein du bassin versant, afin d'y caractériser les zones tampons et leur fonctionnement. Des situations types ainsi que les préconisations qui y sont rattachées peuvent ensuite être dégagées.

Nous n'avons pas abordé les aspects socio-économiques et notamment quelle peut être l'acceptabilité liée aux contraintes de mise en place de zones tampons (emprise foncière, entretien,

etc.). Il est indispensable en premier lieu qu'émerge une réelle prise de conscience de l'intérêt collectif à avancer dans ce sens pour l'avenir : il nous semble, ainsi, très important, voire indispensable, de réaménager les territoires agraires pour regagner de la multifonctionnalité (services écologiques, biodiversité, régulation des transferts (d'eau, de sol, de substances chimiques)) et aussi les rendre plus résilients. Force est de constater que des décennies de remembrements, d'assainissements et d'aménagements fonciers ont parfois créé des territoires trop sensibles aux transferts hydriques des contaminants. À nous de recréer, là où le besoin est évident, des territoires permettant un usage durable des pesticides. C'est nous semble-t-il la responsabilité de tous les acteurs et partenaires des territoires d'agir en ce sens, dans une vision à long terme et en abordant les changements de paradigme qui seront indispensables.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions tout particulièrement Jean Joël Gril, qui a été un acteur décisif dans les travaux du CORPEN puis dans la conceptualisation du diagnostic des zones tampons. Merci aussi aux collègues de l'équipe pollutions diffuses du Cemagref-Irstea de Lyon Villeurbanne (Christelle, Frédéric, Dorothée, Kevin,...). Le chemin parcouru avec les membres du Groupe Technique national Zones Tampons, a par ailleurs été particulièrement intéressant, tout comme l'étude TOPPS-Prowadis menée dans 7 autres pays européens et les récentes réflexions sur les mesures de gestion : alternatives possibles au DVP 20m.

## BIBLIOGRAPHIE

Bernard K., Carluer N., Le Hénaff G., - 2014. Limitation du transfert hydrique des produits phytosanitaires par les zones tampons : caractérisation de l'existant et propositions de dispositifs correctifs et complémentaires. *Techniques Sciences Méthodes*, Vol.12, pp. 83-99.

Carluer N., Fontaine A., Lauvernet C., Muñoz-Carpena R., - 2011. Guide de dimensionnement des zones tampons enherbées ou boisées pour réduire la contamination des cours d'eau par les produits phytosanitaires. Rapport Irstea-MAAPRAT, 98 p.

Catalogne, C., Le Hénaff, G., - 2015. Guide d'aide à l'implantation des zones tampons pour la maîtrise des transferts de contaminants d'origine agricole. Irstea – ONEMA. 63 p.

CORPEN, - 1999. Désherbage - Éléments de raisonnement pour une maîtrise des adventices limitant les risques de pollution des eaux par les produits phytosanitaires. 149 p.

CORPEN, - 2007. *Les fonctions environnementales des zones tampons : les bases scientifiques et techniques des fonctions de protection des eaux*. Première édition, 176 p.

Gril J.-J., Le Hénaff G., - 2010. Guide de diagnostic de l'efficacité des zones tampons rivulaires vis-à-vis du transfert hydrique des pesticides. Rapport Irstea-ONEMA, 46 p.

Gril J.-J., Le Hénaff G., Faidix K., - 2010. Mise en place de zones tampons et évaluation de l'efficacité de zones tampons existantes destinées à limiter les transferts hydriques de pesticides : guide de diagnostic à l'échelle du petit bassin versant. Rapport Irstea-MAAP, 42 p.

Tournebize J., Chaumont C., Marcon A., Molina S., Berthault D., - 2015. Guide technique à l'implantation des zones tampons humides artificielles (ZTHA) pour réduire les transferts de nitrates et de pesticides dans les eaux de drainage. Rapport Irstea-ONEMA, 60 p.

TOPPS-prowadis, - 2014. Bonnes pratiques agricoles : pour réduire la pollution de l'eau par les produits de protection des plantes due au ruissellement et à l'érosion. UIPP, Arvalis, Irstea, 84 p. ([www.TOPPS-life.org](http://www.TOPPS-life.org))

Voltz M., Louchart X. (2001). Les facteurs-clés de transfert des produits phytosanitaires vers les eaux de surface. *Ingénieries – EAT, numéro spécial Phytosanitaires*, pp. 45-51.