

Transfert des pesticides et métaux dans un petit bassin versant viticole – Étude préliminaire de l'influence des conditions hydrologiques sur le transport de ces contaminants

Marion Rabiet, Christelle Margoum, Véronique Gouy, Nadia Carluer et Marina Coquery

Lors des traitements phytosanitaires appliqués sur les surfaces agricoles, une faible part de ces produits atteint la cible souhaitée, le reste se trouvant dispersé dans tous les compartiments de l'environnement que sont l'air, l'eau et le sol (Aubertot *et al.*, 2005). Ainsi, une partie des pesticides est transférée vers les eaux de surface par différents mécanismes comme le ruissellement et/ou les remontées de nappe. Ces transferts constituent une menace sur la qualité de l'eau et peuvent générer des perturbations importantes des écosystèmes. L'évaluation des concentrations et des flux de contaminants d'origine agricole transitant dans les cours d'eau est ainsi devenue un enjeu majeur afin d'évaluer le degré d'exposition du compartiment aquatique à ces molécules.

La mise en œuvre de la Directive cadre sur l'eau (DCE, 2000/60/CE – *European Commission*, 2000) se traduit par une intensification des actions de surveillance des écosystèmes aquatiques et notamment par un renforcement des contrôles des contaminants. Elle implique également de rechercher les causes des dégradations éventuelles de la qualité des masses d'eau et la mise en œuvre et l'évaluation d'actions correctives, afin d'atteindre le « bon état » chimique et écologique en 2015. Ces objectifs nécessitent la mise en place de stratégies de mesure des contaminants adaptés.

Le devenir et le comportement des pesticides dans les petits cours d'eau de bassins versants agricoles

sont encore insuffisamment connus, en particulier du fait de la grande variabilité des apports de versants et de la complexité des phénomènes mis en jeu. Ceci est d'autant plus vrai lors des crues, qui jouent un rôle fondamental dans le transfert des contaminants jusqu'à l'exutoire des bassins versants (Zonta *et al.*, 2005 ; Louchart *et al.*, 2004 ; Louchart, 1999 ; House *et al.*, 1998).

L'objectif de notre étude vise d'une part, à évaluer les concentrations et les flux transitant dans un petit cours d'eau de bassin versant viticole du Beaujolais et d'autre part, à définir une stratégie d'échantillonnage adaptée pour une évaluation fiable de l'exposition aux contaminants. En effet, la détermination d'une stratégie d'échantillonnage adéquate (choix d'une campagne de prélèvement mensuelle, hebdomadaire, suivi en niveau de base, suivi des crues) devrait permettre de mesurer, avec un niveau d'incertitude spécifié, l'impact des activités agricoles sur la qualité des eaux de la rivière. Ce travail vise en particulier à évaluer la contribution des crues en termes de concentration maximale et de flux de pesticides et métaux.

Matériels et méthodes

Le site d'étude : le bassin versant de la Morcille

Le bassin versant de la Morcille a été étudié par le Cemagref dès l'automne 1986 afin d'approcher le transfert des pesticides, les phénomènes d'érosion

Les contacts

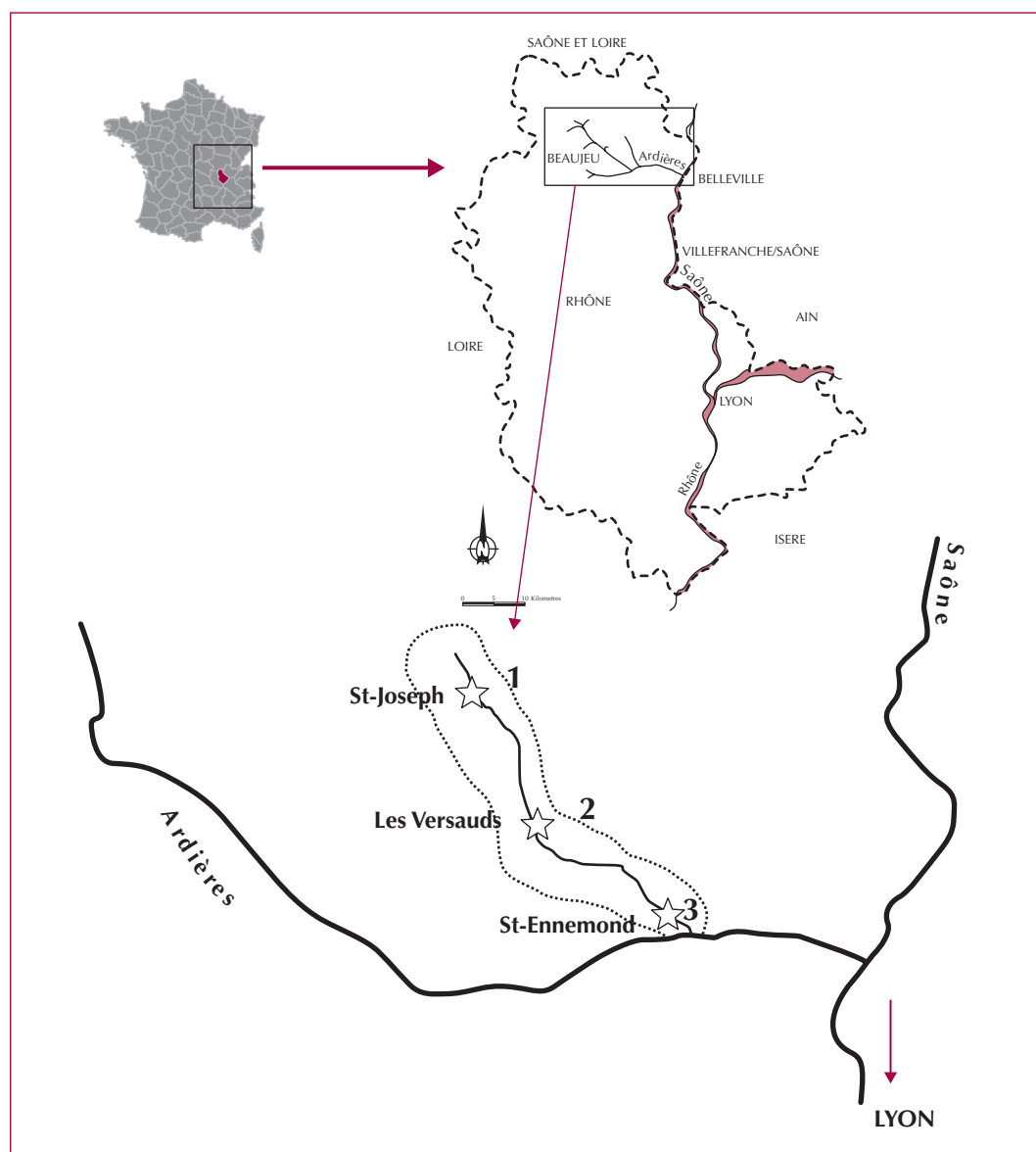
Cemagref, UR Qualité des eaux et prévention des pollutions, 3 bis quai Chauveau, CP 220, 69336 Lyon Cedex 09

et les pratiques culturelles. Ce choix s'expliquait principalement par le constat de la dégradation de l'eau sur ce bassin, sa faible superficie et la vulnérabilité du site au risque érosif. Il représente donc un site intéressant pour étudier l'impact des activités anthropiques sur la qualité des eaux.

Le bassin versant de la Morcille est situé au nord du département du Rhône (figure 1), dans le Haut-Beaujolais, entre la bordure orientale du Massif Central et l'extrémité ouest de la vallée de la Saône. Il constitue un sous-bassin de l'Ardières (220 km²), son exutoire se situant en amont de Saint-Jean-d'Ardières, formant à eux deux le site

atelier Ardières-Morcille (SAAM), intégré dans la zone atelier du bassin du Rhône (ZABR). Sa petite taille (8 km²) permet de définir une zone d'étude où les transferts sont plus facilement compréhensibles. Le bassin de la Morcille est essentiellement forestier en amont et planté de vignes en aval (figure 2). Sur l'ensemble du bassin, la vigne occupe environ 70 % du territoire. Aucune activité industrielle n'est présente sur ce site. Très peu habité, il constitue ainsi une zone majoritairement agricole, permettant d'appréhender la problématique de l'impact des traitements phytosanitaires de la vigne sur les eaux de surface.

► Figure 1 – Localisation du site d'étude : le bassin versant de la Morcille, avec les trois stations de prélèvements étudiées.



D'un point de vue hydrologique, la rivière n'est jamais asséchée, permettant un suivi tout au long de l'année. L'hydrologie de la Morcille varie fortement sur une année pouvant osciller entre 5 et plus de 500 L/s. Le maintien d'un débit de base en été est assuré par la nappe dite d'arène granitique, localisée au niveau de la zone forestière amont et du fond du vallon. Il existe de plus, de petites nappes perchées peu étendues pouvant localement provoquer l'apparition de sources et alimenter la rivière. Les rejets diffus d'eaux usées peuvent également contribuer au débit de la rivière. Ce site est caractérisé par des événements hydrologiques importants (crues fortes et rapides), avec un temps de réponse du bassin très court en raison de versants caractérisés par de fortes pentes (pente moyenne en amont des Versauds de 8 %).

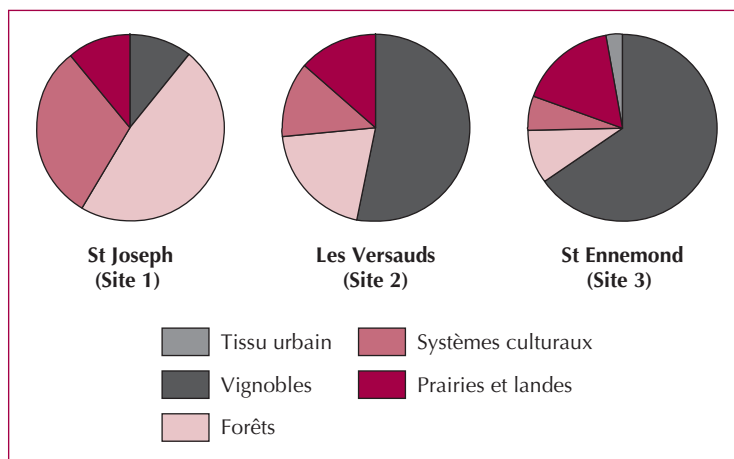
D'un point de vue lithologique, le substrat de ce bassin versant est sableux sur le haut des versants et plus argileux dans le fond de vallée. Il est constitué d'un socle cristallin altéré essentiellement granitique, datant de l'ère primaire.

Au vu de la nature majoritairement sableuse du substrat (entraînant une forte capacité d'infiltration), des pentes et de la présence du socle cristallin à faible profondeur, on peut supposer qu'il existe un écoulement sub-surface et que le ruissellement de surface n'apparaît que lors d'un événement pluvieux de forte intensité pouvant provoquer le dépassement de la capacité d'infiltration des sols.

Les pesticides visés dans cette étude ont été choisis à partir des données existantes sur les usages de phytosanitaires sur le bassin versant de la Morcille, ainsi que sur les suivis de concentrations antérieurs (Gouy et Nivon, 2007). Ils sont présentés dans le tableau 1. Le cuivre et l'arsenic ont également été suivis.

Les campagnes de prélèvements

Deux types de prélèvements ont été mis en œuvre sur le bassin versant de la Morcille. Tout d'abord, un suivi mensuel a été réalisé le long de la rivière sur une période allant de mars à septembre 2006, correspondant à la période d'épandage des pesticides. Les prélèvements ont été effectués sur trois sites localisés le long de la Morcille : le site 1, Saint-Joseph, localisé en amont du bassin ; le site 2, Les Versauds, représentant un point intermédiaire ; et le site 3, Saint-Ennemond, correspond au point le plus en aval de la rivière,



juste avant son exutoire dans l'Ardières (figure 1). Des campagnes de prélèvements hebdomadaires ont également été mises en œuvre sur la période mars-juillet 2006 pour les sites amont et aval (sites 1 et 3).

▲ Figure 2 – Occupation des sols sur le bassin versant de la Morcille.

Parallèlement à ces prélèvements ponctuels, une station fixe de mesure physique (mesure du débit de la rivière en continu) et d'échantillonnage (préleveur automatique réfrigéré composé de 12 bouteilles et asservi au débit de la rivière) a été installée au site intermédiaire Les Versauds, et ce afin d'appréhender le transfert des pesticides en période de crues. Quatre événements hydrologiques ont ainsi été suivis au cours de l'été 2006.

Le protocole analytique

ANALYSE DES PESTICIDES

Un herbicide, le diuron, et deux de ces métabolites ainsi que cinq fongicides (tableau 1), couramment utilisés en traitements sur la vigne, ont été analysés dans la phase dissoute des échantillons prélevés lors des campagnes mensuelles sur les trois sites. Les analyses ont été effectuées par LC-MS/MS¹ après une extraction sur phase solide. Les rendements d'extraction pour les différentes molécules analysées sont compris entre 60 et 100 %. Les limites de quantification varient entre 20 et 80 ng/L selon la molécule. La concentration en matière en suspension (MES) a également été suivie.

ANALYSE DES ÉLÉMENTS TRACES MÉTALLIQUES (ETM)

Sur les trois sites, le cuivre (Cu) et l'arsenic (As) ont été analysés dans la phase dissoute lors des campagnes mensuelles. Les concentrations en Cu

1. Chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse en tandem.

Nom	Usage	Koc (mL/g)	S (mg/L)
Diuron (DIU)	Herbicide	480	36,4
Dichloroaniline (DCA)	Métabolite		
3, (3'-dichlorophenyl)-1 méthylurée (DCMU)	Métabolite		
Azoxistrobine (AZS)	Fongicide	423	6
Carbendazime (CBZ)	Fongicide	200	8
Tébuconazole (TBZ)	Fongicide	803-1251	32
Procymidone (PCM)	Fongicide	1514	4,5
Dimétomorphe (DMM)	Fongicide	290-566	18

▲ Tableau 1 – Pesticides analysés et propriétés physico-chimiques : constante de partage avec la matière organique (Koc) et solubilité (S).

2. Direction régionale de l'environnement.

3. *Previsible Non Effect Concentration*.

4. Institut national de l'environnement industriel et des risques.

et As dans les MES ont également été analysées lors des campagnes plus rapprochées (hebdomadaires) effectuées sur les sites 1 et 3. Les analyses ont été effectuées par spectrométrie d'absorption atomique en four.

Résultats et discussion

Le suivi ponctuel hors crues marquées

L'évolution spatio-temporelle de la concentration totale dissoute en pesticides le long de la rivière montre un important gradient amont-aval avec des concentrations pouvant atteindre 5 µg/L selon la période au site aval (figure 3). Les pesticides suivis n'ont été détectés qu'une seule fois sur le site amont (site 1), indiquant un faible impact des traitements à ce niveau de la rivière. Cette observation est à relier au faible pourcentage de vigne drainé en ce point (figure 2). Par contre, quelle que soit la période considérée, le site aval (Saint-Ennemond), drainant un bassin versant occupé à 70 % par la vigne, est caractérisé par la présence persistante de pesticides dans ses eaux avec une concentration dissoute totale moyenne de $2,8 \pm 2,1$ µg/L.

La distribution des pesticides sur le site 3 à l'aval montre que tous les pesticides étudiés ont été détectés au moins une fois dans la rivière (figure 4). Les concentrations en diuron, herbicide largement utilisé sur la vigne, sont comprises entre 0,15 et 4,0 µg/L, avec une moyenne de $1,3 \pm 1,4$ µg/L. Dès le début de la période d'épandage, la concentration en diuron est largement supérieure à la NQE-MA (norme de qualité environnementale exprimée en valeur moyenne annuelle) proposée pour les eaux de surface qui est de 0,2 µg/L (*European Commission*, 2006).

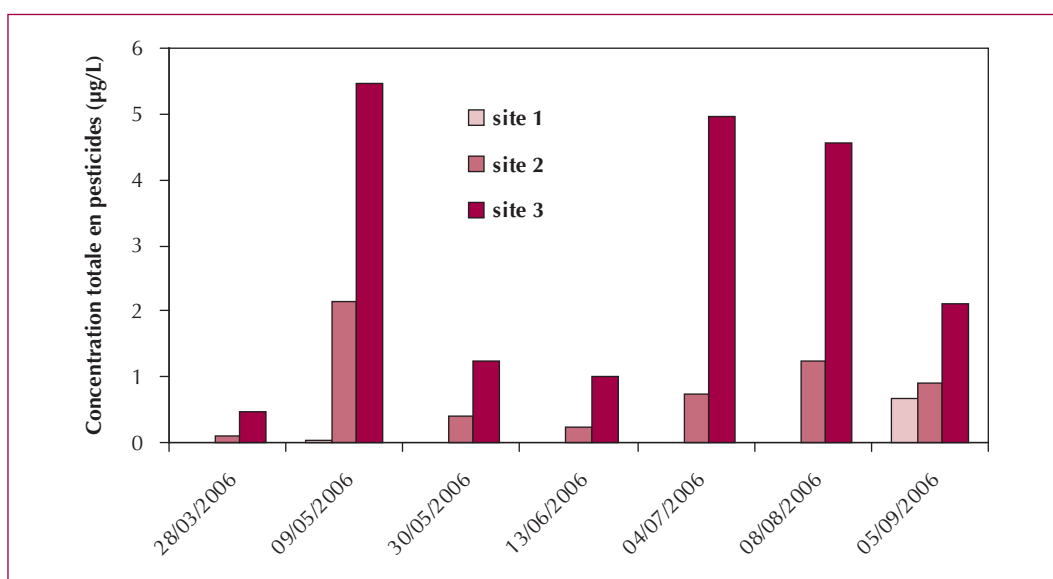
Une importante variabilité est observée sur la période d'étude liée probablement aux différentes périodes d'épandage de chaque pesticide, mais également aux conditions hydrologiques (débit de la rivière, pluviométrie) lors des prélèvements. En effet, la comparaison des concentrations en pesticides avec le débit de la rivière lors des prélèvements ponctuels révèle que certaines fortes concentrations observées correspondent à une situation de crue (cas du 09/05/2006, par exemple) (figure 5). Ces résultats montrent toute la difficulté du choix du mode d'échantillonnage lors d'une étude de transfert de contaminants dans un cours d'eau. Ceci pose la question de la représentativité d'un prélèvement ponctuel lors d'une estimation de flux de contaminants.

Nous avons estimé les flux mensuels de pesticides totaux et du diuron sur le site 2, à partir des concentrations ponctuelles mensuelles (phase dissoute) et des débits moyens mensuels de la DIREN² (www.hydro.eaufrance.fr/) (tableau 2). Les flux en pesticides transitant dans le cours d'eau de mars à septembre 2006 sur le site 2 sont estimés à environ 475 g (en tenant compte du prélèvement du 09 mai 2006, correspondant à un événement de crue) dont plus de 64 % est attribuable au diuron. Si l'on tient compte de la surface en vigne drainée sur le site les Versauds (175 ha) et de la dose annuelle préconisée pour le diuron (Couteux et Lejeune, 2007), cela correspond à 1,75 g/ha, soit environ 0,1 % de transfert vers la Morcille.

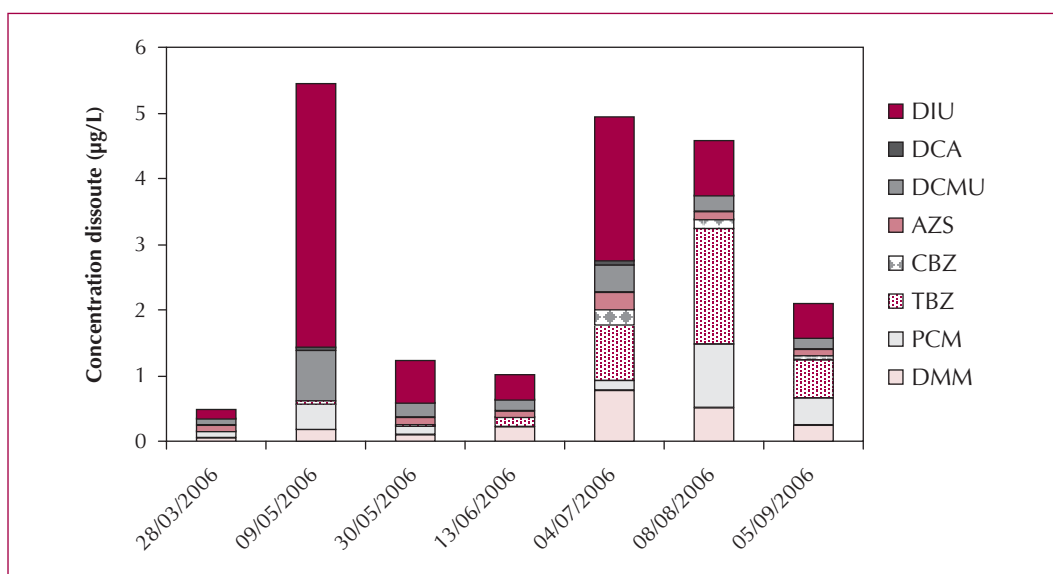
Le suivi des concentrations dissoutes en As et Cu est présenté sur la figure 6. Les pesticides arséniés ont longtemps été utilisés en viticulture mais sont désormais interdits, et ce depuis 2001. Le cuivre est largement utilisé sur la vigne en tant que fongicide, généralement sous forme de sulfate de cuivre pour lutter contre le mildiou. Un fort gradient amont-aval est observé pour ces deux éléments avec des concentrations atteignant respectivement jusqu'à 16,9 µg/L et 11,5 µg/L en aval du cours d'eau. Ces concentrations sont largement supérieures à la concentration prédite sans effet sur l'environnement (PNEC³) qui est de 4,4 µg/L et 1,6 µg/L pour As et Cu respectivement (INERIS⁴, 2006). On constate que sur le site amont, les concentrations en As sont déjà élevées, variant entre 0,9 et 3,1 µg/L avec une moyenne de $2,2 \pm 0,6$ µg/L. Étant donné le faible pourcentage de vigne drainé en ce point et l'absence quasi constante de pesticides organiques, on peut supposer que l'arsenic présent à l'amont

de la Morcille a une origine majoritairement naturelle. Celle-ci est probablement liée à un fond géochimique élevé dû à la possible présence de filons d'As localisés dans les roches granitiques. De plus, le traitement de la vigne à l'arsenic étant interdit depuis 2001, l'augmentation de la concentration dissoute en As le long de la rivière peut s'expliquer par un bruit de fond résiduel d'As dans le sol et dans les différentes nappes alimentant le cours d'eau. L'origine naturelle ne peut pas être entièrement exclue, malgré des concentrations relativement élevées en aval.

Le suivi des concentrations particulières (exprimées en µg/g de MES) en As et Cu est présenté sur la figure 7. Jusqu'au mois de juin, la différence de concentration particulière en As est faible entre l'amont et l'aval. La concentration moyenne (excluant les deux dernières campagnes) est de 140 ± 41 µg/g. À partir de juin, on constate une forte augmentation de la concentration en As au site aval, qui atteint plus de 500 µg/g en juillet. On note un comportement différent du cuivre, qui présente un fort gradient amont-aval et également une importante variabilité temporelle sur le site 3,

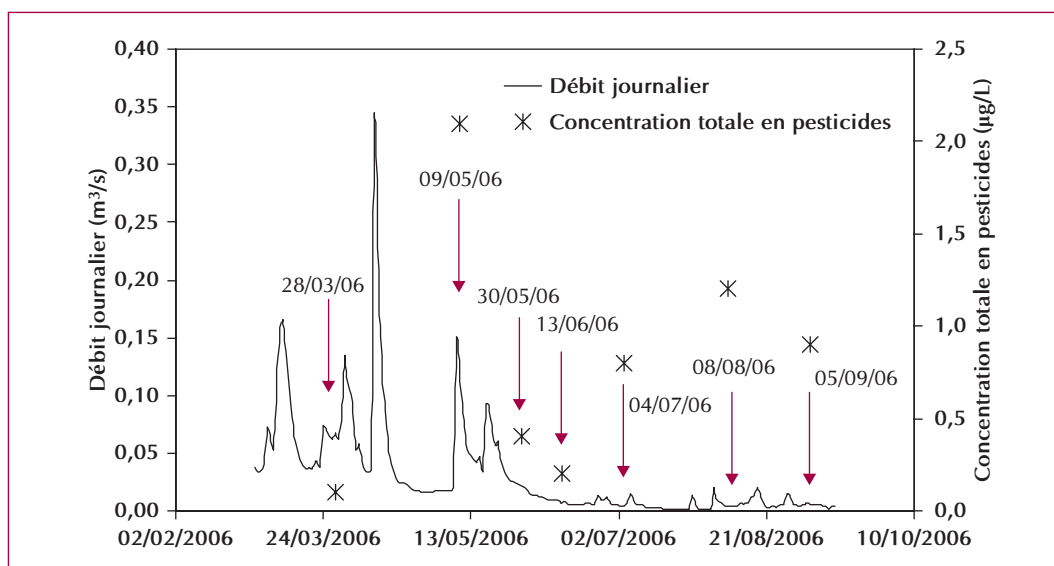


◀ Figure 3 – Évolution spatio-temporelle de la concentration totale dissoute en pesticides (6 pesticides + 2 métabolites) le long de la rivière Morcille de mars à septembre 2006 (site 1 : Saint-Joseph ; site 2 : les Versauds ; site 3 : Saint-Ennemond).



◀ Figure 4 – Évolution temporelle de la concentration dissoute en pesticides sur le site 3, Saint-Ennemond, de mars à septembre 2006.

► Figure 5 – Débit journalier (m^3/s) et concentration dissoute totale en pesticides dans la Morcille sur le site des Versauds de mars à septembre 2006 et localisation des différentes campagnes de prélèvements.



► Tableau 2 – Estimation des flux mensuels en pesticides totaux et diuron (phase dissoute) sur l'année 2006 sur le site 2, Les Versauds (calculés à partir des concentrations ponctuelles et des débits moyens mensuels).

Date	Concentration dissoute en pesticides totaux ($\mu\text{g}/\text{L}$)	Concentration dissoute en diuron ($\mu\text{g}/\text{L}$)	Débit moyen mensuel m^3/s	Flux mensuel en pesticides totaux (g)	Flux mensuel en diuron (g)
28/03/2006	0,11	0,05	0,071 (mars)	21	10
09/05/2006	2,14	1,40	0,068 (avril)	349	255
30/05/2006	0,39	0,22	0,046 (mai)	48	27
13/06/2006	0,24	0,09	0,009 (juin)	6	2
04/07/2006	0,75	0,20	0,009 (juin)	18	5
08/08/2006	1,23	0,14	0,004 (juillet)	13	1
05/09/2006	0,92	0,30	0,008 (août)	20	6

avec une augmentation des concentrations en été. À l'amont, la concentration particulaire en Cu est faible avec une moyenne de $35 \pm 5 \mu\text{g}/\text{g}$. Par contre, sur le site aval, la concentration particulaire en Cu varie entre 168 et $874 \mu\text{g}/\text{g}$, reflétant une forte contribution des particules en suspension au transfert du Cu.

De manière à prendre en compte la concentration en MES dans l'eau, nous avons comparé les concentrations dissoutes et particulaires (ramenées en $\mu\text{g}/\text{L}$) en Cu et As sur les sites 1 et 3 (figure 8). On constate qu'entre l'amont et l'aval, la concentration particulaire en As n'augmente pas. L'augmentation des concentrations d'As observée entre les deux sites est principalement sous forme dissoute. Il semblerait donc que la

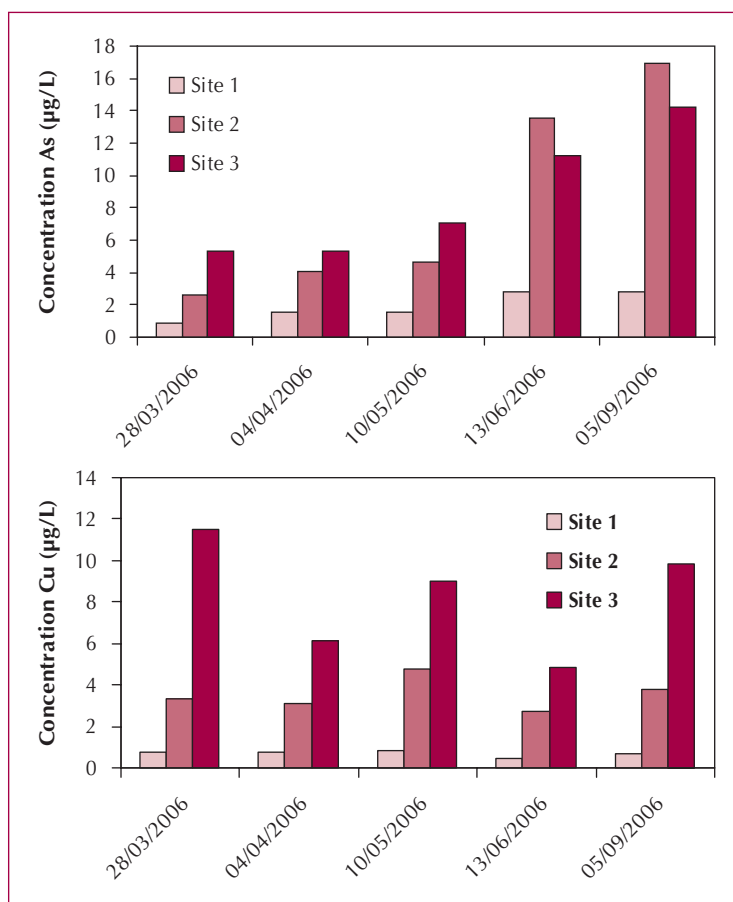
phase particulaire contribue relativement peu au transport de l'As dans ce cours d'eau. Par contre, pour le Cu, l'augmentation de la concentration observée dans la phase dissoute entre les sites 1 et 3 est également observée dans la phase particulaire. Ainsi, le Cu particulaire peut représenter jusqu'à 40 % du Cu total transporté dans la rivière, montrant la nécessité de prendre en compte la phase particulaire lors de l'étude du transfert de certains contaminants.

En conclusion, le suivi en niveau de base sur le bassin de la Morcille montre la persistance de pesticides et de métaux dans la rivière pendant toute la durée de l'étude, reflétant clairement l'impact des traitements de la vigne sur le cours d'eau. L'important gradient de concentration en

pesticides et en Cu observé le long du cours d'eau est attribuable à l'augmentation croissante de la proportion de vignes de l'amont à l'aval. L'augmentation des concentrations en As peut être due à une pollution résiduelle du sol et des nappes en liaison avec le cours d'eau liée à l'utilisation pendant des années de pesticides arséniés. De plus, on constate une forte variabilité temporelle des concentrations qui peut être liée d'une part, aux conditions hydrologiques lors du prélèvement, et d'autre part, aux périodes d'épandage des pesticides.

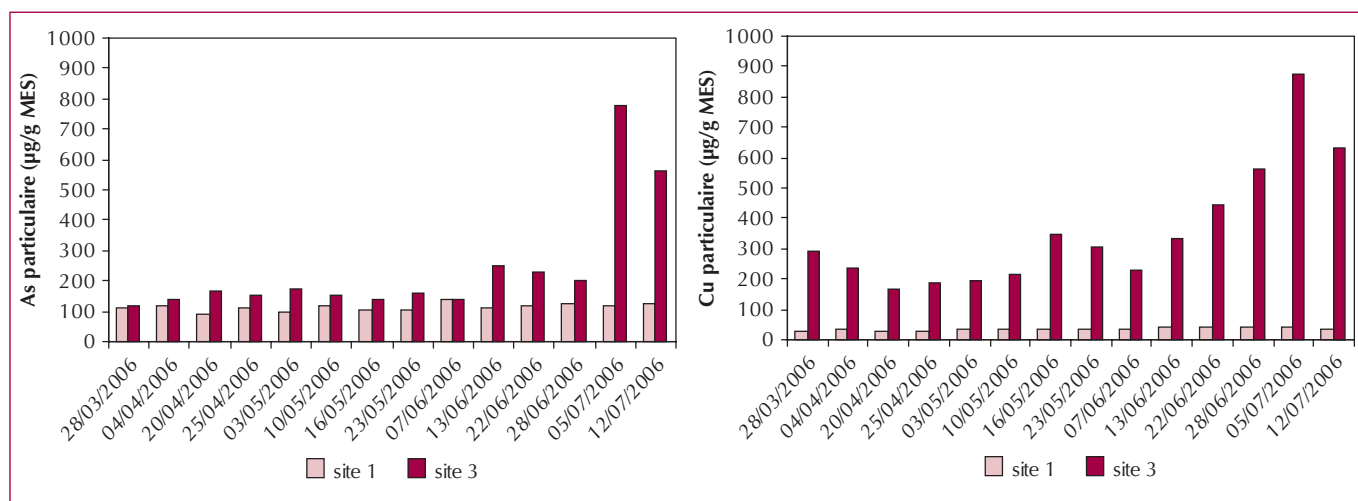
L'évolution des concentrations lors des crues

Quatre crues ont été suivies au cours de l'été 2006 sur le site des Versauds. L'évolution du débit de la rivière et des concentrations dissoutes en pesticides au cours de ces événements hydrologiques est présentée sur la figure 9. D'une manière générale, les épisodes de crue sont caractérisés par un pic de concentration en pesticides. Cette importante augmentation des concentrations est observée pour le diuron, le dimétoparbe, la procymidone et le tébuconazole, pesticides largement utilisés sur la vigne. La concentration en diuron durant le pic de crue excède toujours la NQE-CMA proposée (norme de qualité environnementale exprimée en concentration maximale admissible) qui est de 1,8 µg/L (European Commission, 2006). Les concentrations atteignent 14 µg/L lors de la crue du 27 juillet par exemple. Par contre, pour certains pesticides tels que l'azoxystrobine ou la



▲ Figure 6 – Évolution spatio-temporelle de la concentration dissoute en As et Cu le long de la rivière Morcille de mars à septembre 2006 (site 1 : Saint-Joseph ; site 2 : Les Versauds ; site 3 : Saint-Ennemond).

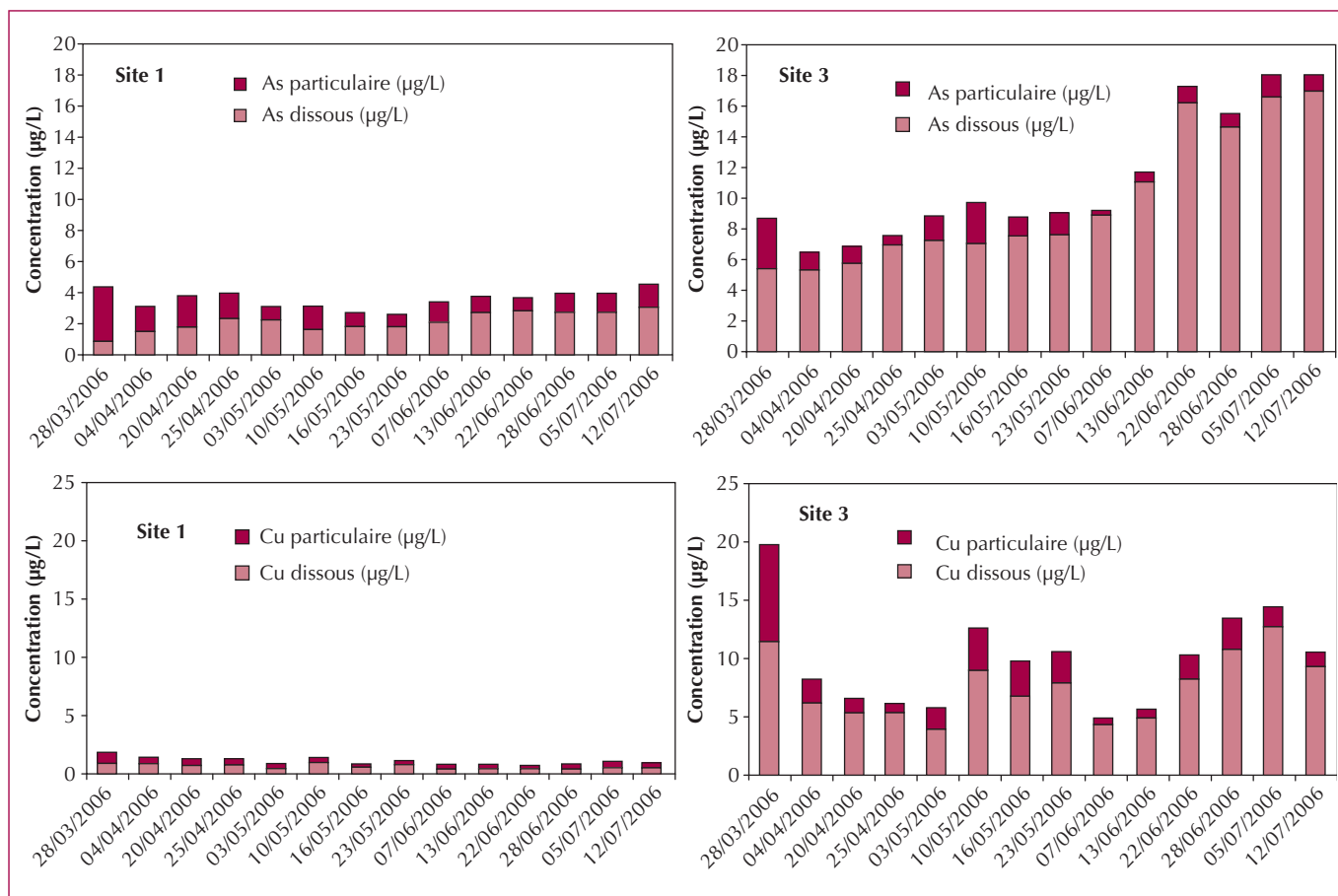
▼ Figure 7 – Évolution spatio-temporelle de la concentration particulaire (µg/g) en Cu et As sur les sites 1 (Saint-Joseph) et 3 (Saint-Ennemond) de mars à juillet 2006.



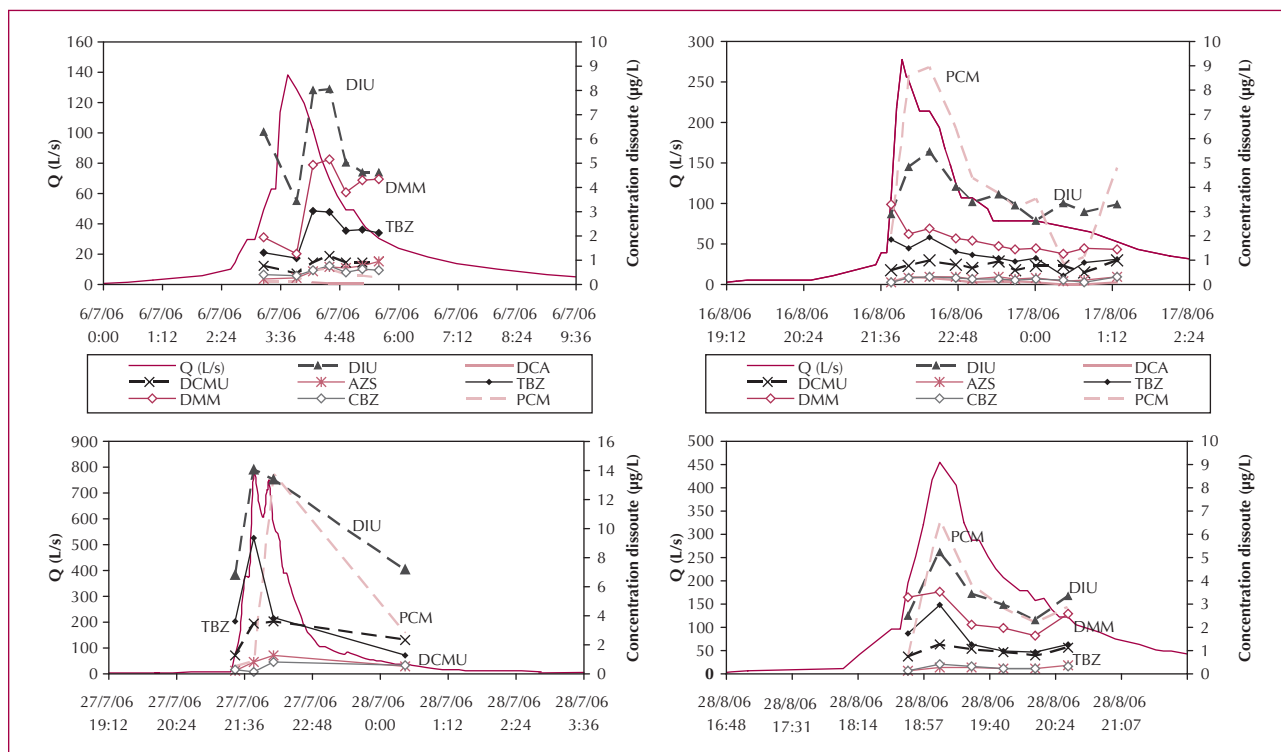
carbendazime, les concentrations n'augmentent pas significativement au cours des crues. Les concentrations totales en pesticides dissous maximales mobilisées lors des différentes crues sont du même ordre de grandeur, variant entre 19 et 36 $\mu\text{g/L}$. Les flux totaux de pesticides dissous estimés pendant les quatre événements échantillonnés varient entre 8 g (crue du 06/07/2006) et 70 g (crue du 27-28/08/2006). Ainsi, on observe que les flux de pesticides pendant la crue sur une courte période (quelques heures) sont du même ordre de grandeur, voire parfois supérieurs, à ceux estimés sur une période mensuelle (tableau 2), reflétant l'importante contribution des crues aux transports de pesticides dans le cours d'eau. De plus, cette première estimation des flux ne prend en compte que la fraction dissoute. Or, lors des épisodes pluvieux, une grande quantité de MES est également charriée, conduisant à des pics de

MES dans la rivière qui peuvent atteindre plus de 1 g/L. Certains pesticides, à plus forte affinité pour les particules, comme la procymidone, peuvent être mobilisés sous forme particulaire et contribuer ainsi aux flux totaux de pesticides (dissous + particulaire).

En termes de dynamique, on constate que la forme des chémozogrammes varie selon la crue. Le comportement des pesticides lors des crues est un phénomène complexe, dépendant de nombreux paramètres tels que l'état initial du milieu (état d'humidité des sols, délai depuis la pluie précédente, concentration initiale en pesticides dans le cours d'eau, date d'épandage) et les caractéristiques de l'événement pluvieux (sa localisation sur le bassin, la durée et l'intensité de la pluie) (Leonard, 1990). Les quatre crues observées sont relativement distinctes en termes de débit maximal ou de durée de l'événement.



▲ Figure 8 – Évolution de la concentration dissoute et particulaire en Cu et As sur les sites 1 (Saint-Joseph) et 3 (Saint-Ennemond) de mars à juillet 2006.



Ainsi, au vu des débits de pointe et des durées, on peut considérer que deux types de crues ont été suivis durant l'été 2006 : des crues de faibles débits sur plusieurs heures (type 1 : crues du 06/07 et 16/08) caractérisées par un décalage des pics de débits et de concentrations (estimé à environ 30 minutes) ; et des crues de débits plus importants sur une période plus courte (type 2 : crues du 27/07 et 28/08) présentant une coïncidence parfaite entre les deux pics. Il est possible d'émettre quelques hypothèses. Louchart (1999) a montré que l'évolution des concentrations en pesticides pendant la crue est fortement liée à l'intensité de la pluie. Il a ainsi montré que pour de fortes intensités de pluie, le principal processus de mobilisation serait la désorption à partir des particules de sol détachées par effet « splash ». Pour des intensités de pluie faibles, les phénomènes de diffusion et de dilution dans le sol deviendraient prépondérants. Dans le cas présent, pour les crues de type 1, le mécanisme prépondérant à l'origine du transfert des pesticides jusqu'à la rivière serait la diffusion et le transport à travers le sol (écoulement sub-surfacique), phénomènes plus lents induisant un décalage entre les pics de débit et de concentration. Par contre, pour les crues de type 2, on aurait la prépondérance

de l'effet « splash » et du transport de surface en raison de la forte intensité des crues, provoquant une rapide mobilisation des pesticides et une absence de décalage entre les pics.

La crue du 6 juillet se singularise des autres par une décroissance initiale des concentrations en pesticides qui atteignent un minimum au plus fort de la crue puis augmentent très rapidement. Cette décroissance initiale, non observée pour les autres crues, peut être reliée à l'état initial du système, notamment en raison de concentrations initiales élevées en pesticides et à une première dilution des concentrations par l'apport d'eau de pluie.

Conclusion

Cette étude préliminaire a permis de mettre en évidence l'impact des traitements phytosanitaires sur la qualité d'un petit cours d'eau, avec des concentrations en pesticides et en métaux qui sont plus élevées à l'aval du bassin et augmentent durant les périodes d'épandage. Dans le cas du diuron, ces concentrations dépassent généralement les normes de qualité environnementale de la DCE. Le suivi lors des épisodes de crue a

▲ Figure 9 – Évolution du débit et de la concentration dissoute en pesticides lors des quatre crues suivies en été 2006 sur le site 2, Les Versauds.

montré l'importante mobilisation des pesticides d'origine agricole par lessivage des sols cultivés, avec des pics de concentration totale dépassant parfois la dizaine de microgramme par litre. Ainsi, un événement de crue peut mobiliser une quantité équivalente de pesticides à celle transportée durant un mois en régime hydrique de base (hors période de crue). Ces résultats démontrent l'importance du choix de la stratégie d'échantillonnage pour évaluer les flux transitant dans un cours d'eau sur une année hydrologique.

Durant l'année 2007, nous avons amplifié le suivi de la dynamique des pesticides et des métaux en régime hydrique de base et lors des crues, afin de confirmer les hypothèses formulées ici. La

stratégie d'échantillonnage choisie est un suivi hebdomadaire sur une année hydrologique et un suivi plus précis des crues printanières et estivales. Le suivi englobe les phases dissoute et particulaire pour les pesticides et les métaux, afin d'évaluer le rôle des MES dans le transfert des contaminants. Ces données, actuellement en cours d'exploitation, permettront de comparer les différentes estimations de flux à partir des résultats obtenus sur les échantillonnages ponctuels, moyennés hebdomadaires et lors des crues. À terme, ces travaux nous permettront de définir les stratégies d'échantillonnage à mettre en place pour estimer, avec une incertitude mieux connue, les concentrations et les flux de pesticides et métaux transitant dans un cours d'eau. □

Remerciements

Ce travail a été partiellement financé par le projet ECOGER PAPIER qui vise à fournir des éléments explicatifs de l'état écologique d'une rivière par l'activité agricole et l'aménagement du paysage dans le bassin versant qui l'alimente. Nous souhaitons remercier N. Ball et B. Motte pour leur précieuse aide technique sur le terrain. Nous remercions également C. Guillemain pour sa contribution majeure aux analyses des pesticides ainsi que J. Gahou, L. Dherret et C. Mirande pour les analyses des métaux.

Résumé

La Directive cadre sur l'eau (2000/60/CE) implique une intensification de la surveillance des contaminants, l'identification des causes et la mise en œuvre d'actions correctives afin d'atteindre un « bon état » chimique et biologique des masses d'eau en 2015. L'objectif de cette étude vise d'une part à évaluer les concentrations et les flux en pesticides et métaux transitant dans un petit cours d'eau de bassin versant viticole du Beaujolais, et d'autre part à préciser une stratégie d'échantillonnage adaptée pour permettre une évaluation fiable de l'exposition aux contaminants. L'estimation des flux de pesticides lors des crues et des suivis ponctuels en niveau de base révèle qu'une crue peut mobiliser autant de pesticides que durant un mois en période hors crue.

Abstract

The implementation of the European water framework directive implies the intensification of contaminants monitoring, identification of the causes of degradation and implementation of corrective actions to reach a good chemical and biological status by 2015. The aim of the present study is on the one hand, to evaluate concentrations and fluxes of pesticides and metals in a small stream draining an agricultural watershed located in the Beaujolais area and on the other hand, to define a sampling strategy adapted for an accurate evaluation of exposition to these contaminants. The estimation of pesticide fluxes passing through the river during flood events and during grab sampling showed that a single flood event can transport as much pesticides as those mobilized during one month in baseflow.

Bibliographie

AUBERTOT, J.-N., BARBIER, J.-M., CARPENTIER, A., GRIL, J.-J., GUICHARD, L., LUCAS, P., SAVARY, S., SAVINI, I., VOLTZ, M., (éditeurs), 2005, *Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux. Expertise scientifique collective*, synthèse du rapport, INRA et Cemagref (France), 64 p.

COUTEUX, A., LEJEUNE, V., 2007, *Index phytosanitaire Acta*, 43^e édition, 882 p.

EUROPEAN COMMISSION, 2000, Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for community action in the field of water policy", *Official J European Union*, L327, p. 1-72, 22.

EUROPEAN COMMISSION, 2006, Proposition de Directive du parlement européen et du conseil établissant les normes de qualité environnementale dans le domaine de l'eau et modifiant la directive 2000/60/CE (présentée par la Commission), COM(2006) 398 final, 27 p.

GOUY, V., NIVON, C., 2007, *Caractérisation et suivi de la qualité des eaux sur le bassin versant de la Morcille sur la période 2001-2006*, rapport d'étude Cemagref, Chambre d'agriculture du Rhône, 59 p.

HOUSE, W.-A., WARWICK, M.-S., 1998, Intensive measurements of nutrient dynamics in the River Swale, *The Science of The Total Environment*, vol. 210-211, p. 111-137.

INERIS, 2006, *Détermination de concentrations prédites sans effet pour les organismes aquatiques (PNECaqua) pour les substances de la liste II de la Directive 76/464/CEE : substances traitées en 2005. Partie II : substances inorganiques (23 substances)*, rapport INERIS n° 06CR014, 128 p.

LEONARD, R.-A., 1990, Movement of pesticides into surface waters. Pesticides in the soil environment : processes, impacts and modeling, *Soil Science Society and America Book Series*, n° 2, Cheng H.-H., Denver, p. 303-349.

LOUCHART, X., VOLTZ, M., et al., 2004, Oryzalin fate and transport in runoff water in Mediterranean vineyards, *Chemosphere*, vol. 57, n° 8, p. 921-930.

LOUCHART, X., 1999, *Transfert de pesticides dans les eaux de surface aux échelles de la parcelle et d'un bassin versant viticole – Étude expérimentale et éléments de modélisation*, thèse de doctorat, École nationale supérieure agronomique de Montpellier, 263 p.

ZONTA, R., COLLAVINI, F., et al., 2005, The effect of floods on the transport of suspended sediments and contaminants : A case study from the estuary of the Dese River (Venice Lagoon, Italy), *Environment International*, vol. 31, n° 7, p. 948-958.