

Optimisation du fonctionnement des zones humides artificielles pour réduire les flux de pesticides : le projet ArtWET

Caroline Grégoire

Le projet ArtWet s'inscrit dans le projet européen Life Environnement, LIFE 06 ENV/F/000133

L'agriculture intensive et tournée vers la productivité s'est développée de manière considérable depuis quelques dizaines d'années, entraînant l'utilisation massive de produits phytosanitaires. Trois cent vingt mille tonnes de produits phytosanitaires sont ainsi épandues chaque année sur le territoire agricole de la communauté européenne. L'introduction de pesticides et leur dispersion au sein des agro-systèmes posent la question de la pérennité de la qualité de la ressource en eau, telle qu'elle est exposée dans la Directive cadre (2000/60/EC). Le transfert des flux générés au sein de ces bassins versants agricoles se réalise, à l'aval, vers d'autres systèmes urbains ou ruraux qui ne possèdent pas forcément les capacités pour dégrader la pollution diffuse générée et transférée dans les réseaux d'assainissement (Hares et Ward, 2004), via des bassins d'orage (Grégoire, 2006), dans des fossés d'évacuation (Hares et Ward, 1999), vers des rivières (Kohler *et al.*, 2004), vers des systèmes aquatiques permanents (Mitsch et Gosselink, 2007) ou encore vers des zones humides naturellement présentes en bas de versant (Grégoire *et al.*, 2007) ou aménagées (Fiener *et al.*, 2005).

L'hydrologie liée au processus de transfert, de stockage et déstockage des flux est alors primordiale et explique l'importance portée aux zones de rétentions telles que les zones humides artificielles.

Le contexte du projet ArtWET

La bio-atténuation observée dans les zones humides artificielles (Williams, 2002 ; Moore *et al.*,

2006) traduit l'existence de micro-organismes et d'une végétation capable de dégrader les produits phytosanitaires. Néanmoins, leur présence dans les sédiments et dans l'eau à des concentrations qui demeurent élevées (Ng *et al.*, 1995 ; Lecomte, 1999 ; Louchart *et al.*, 2004 ; Domange, 2005) révèle un système non optimisé justifiant la conception d'un procédé de traitement performant et maîtrisé. Les traitements biologiques étant considérés comme une voie économiquement et écologiquement intéressante, mais peu exploitée, c'est par conséquent un procédé de ce type qui fait l'objet du projet ArtWET « *Mitigation of agricultural non point-source pesticide pollution and phytoremediation in Artificial WETland ecosystems*¹ », projet Européen LIFE ENVIRONMENT référencé LIFE 06 ENV/F/000133 qui a débuté le 1^{er} octobre 2006 pour trois ans (encadré 1). Ce projet interdisciplinaire complète et utilise les recherches déjà menées sur les zones humides (encadré 2) tant naturelles (Mitsch et Gosselink, 2007) que construites pour le contrôle de la pollution d'origine urbaine (IWA², 2006). Il apporte également une vision intégrative du traitement de la pollution diffuse due aux produits phytosanitaires au sein de zones humides artificielles.

Un concept innovant, une approche interdisciplinaire

Le concept innovant proposé consiste à adjoindre aux fonctions physiques de protection des ouvrages de rétention hydraulique de nouvelles fonctionnalités biologiques (visant à la dépol-

1. En français : réduction de la pollution diffuse due aux produits phytosanitaires et phyto-remédiation dans les zones humides artificielles.
2. *International Water Association*.

Les contacts

École nationale du génie de l'eau et de l'environnement de Strasbourg, Centre d'écologie végétale et d'hydrologie, 1 quai Koch, 67070 Strasbourg

Encadré 1

Les partenaires impliqués dans le projet ArtWET

Le bénéficiaire de ce projet est l'ENGEES qui coordonne neuf partenaires répartis sur les territoires français, italien et allemand. Ces partenaires sont (dans l'ordre d'énumération du projet) : le Cemagref (Antony, France), l'université de Haute-Alsace (UHA, Colmar, France), l'université catholique du Sacré-Cœur (UCSC, Piazenza, Italie), l'université Albert-Ludwigs (Freiburg, Allemagne), l'université de Koblenz-Landau (UKL, Allemagne), la chambre d'agriculture d'Indre et Loire (CA37, France), le bureau d'étude BURGEAP (Strasbourg, France), le bureau d'étude Dilger GmbH (IBD, Dahn, Allemagne) et le district Verbandsgemeinde Landau-Land (VGLL, Allemagne).

La commission européenne finance 50 % du projet qui a un montant global de 3 878 621 euros et mobilise également des ressources de co-financeurs français (dans l'ordre d'énumération du projet) : BASF Agro SAS, le conseil général du Haut-Rhin, le conseil régional d'Alsace, le conseil général d'Indre et Loire, l'agence de l'eau Loire-Bretagne.

Encadré 2

Les zones humides comme élément clé du paysage dans la lutte contre la pollution diffuse : de nombreux verrous

Les zones humides recouvrent un large spectre de définitions de par leur localisation géographique dans différentes zones climatiques, de par leur constitution physico-chimique et la végétation qu'elles abritent. Waksman (1942), *in* Mitsch et Gosselink (2007), mentionne plus de 90 termes pour les nommer, tandis que Mitsch et Gosselink (2007) relatent les 32 termes de base pour qualifier ces zones à travers le monde.

Les zones humides naturelles ou artificielles constituent des systèmes tampons efficaces vis-à-vis de la dépollution azotée (Kieckbusch et Schrautzer, 2007), phosphatée (Braskerud, 2002 ; Dunne *et al.*, 2007) ou encore des métaux lourds (Nieminen *et al.*, 2002 ; Scholz, 2004). Les cycles du soufre et du carbone sont également étudiés (Mitsch et Gosselink, 2007). Quelques études récentes soulignent également le rôle d'atténuation de ces zones face au transfert de produits phytosanitaires issus des agrosystèmes (Reichenberger *et al.*, 2007). Cependant, les interactions biologiques (plantes, bactéries) et physiques (sol, substrat, sédiments, eau) restent mal connus (IWA, 2006), et il reste de nombreux verrous concernant la quantification des prélèvements d'azote, de phosphore ou de pesticides par la végétation dans ces zones inondables ou la quantification de l'abattement des concentrations et des flux de pollution diffuse. Si l'on s'intéresse aux zones humides artificielles en zone agricole, les modèles sol-plante développés notamment en agromonie sont-ils adaptés aux zones humides ? Les modèles hydrauliques développés dans le cas du traitement des eaux usées sont-ils robustes face au fonctionnement particulier de ces zones ? Comment tendre vers une gestion des ouvrages et une conception d'aménagements durables, adaptatifs et multifonctionnels, basés sur les mécanismes qui gouvernent les systèmes étudiés ? Quels sont les interactions entre le végétal et les micro-organismes dans la réduction des flux ?

lution) et d'améliorer celles déjà étudiées au sein des dispositifs tels que les fossés végétalisés (Dabrowskiv *et al.*, 2006), les bandes enherbées (Lacas *et al.*, 2005), les zones humides naturelles, aménagées, agricoles ou forestières (Williams, 2002) afin de réduire la charge polluante en sortie des agrosystèmes étudiés.

La complexité du fonctionnement des systèmes étudiés et l'interaction entre les processus forcent une approche pluridisciplinaire afin d'atteindre une optimisation interdisciplinaire impliquant hydrologie, hydraulique, chimie, biochimie, écotoxicologie, microbiologie, biologie végétale et socio-économie.

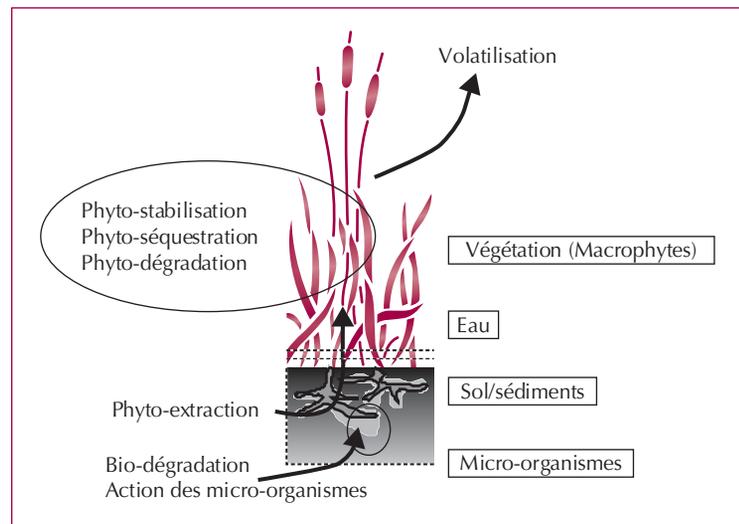
Ces dispositifs qui doivent optimiser le fonctionnement hydro-bio-chimique du quadruplet « eau-sédiment/sol-végétation-bactéries » (figure 1), présent dans tous les types de dispositifs envisagés dans ArtWET, se veulent rustiques pour une meilleure intégration dans le paysage, pour assurer un plus faible coût de construction et de gestion et pour être ainsi adoptés, à terme, plus facilement sur l'ensemble du territoire français et européen.

Afin d'évaluer et de comparer l'efficacité des différents dispositifs impliqués dans l'étude, l'établissement d'une méthodologie commune appropriée pour le suivi de ces sites est nécessaire. Celle-ci concerne le choix partagé de familles de molécules suivies sur les sites, une stratégie d'échantillonnage comparable (fréquence, volume, localisation...), un procédé analytique reconnu...

Le vecteur de transfert principal étudié dans la cadre de ces recherches est l'eau. Il est donc nécessaire de comprendre, caractériser et quantifier les flux d'eau reçus par les zones humides artificielles et conditionnés par les précipitations tombées en amont, sur les bassins versants collecteurs (Domange, 2005). La maîtrise des temps de séjour (Rousseau *et al.*, 2004) à l'intérieur des zones humides artificielles est également un enjeu majeur : souvent de l'ordre de quelques jours (Drizo *et al.*, 2000 ; Rousseau *et al.*, 2004), dans un certain nombre de cas, les temps de rétention des polluants n'excèdent pas quelques heures (Reilly *et al.*, 2000), ce qui est largement insuffisant pour entraîner la dégradation microbienne des pesticides (et/ou l'accumulation du Cu^3 par les plantes).

Les flux de solutés sont mesurés en entrée et sortie des dispositifs (intra-dispositifs pour certains), impliquant alors une métrologie adaptée. Les flux sont également à mettre en parallèle avec les apports d'intrants réalisés lors des cycles culturaux.

Afin de dépasser le simple (mais nécessaire) concept de bilan de masse, nous cherchons à comprendre, quantifier et optimiser les processus responsables de la dégradation tant biotique qu'abiotique. La biodégradation (transformation du produit par des micro-organismes) semble être le processus dominant (Bending et Rodriguez-Cruz, 2007) dans la majeure partie des cas, puisque la microflore du sol présente une grande diversité métabolique, une grande capa-



cité d'adaptation et donc une bonne aptitude à dégrader pratiquement tous les xénobiotiques de l'environnement moyennant un certain temps d'adaptation (Arbeli et Fuentes, 2007). Ce processus est principalement actif dans la zone racinaire, partie du sol qui abrite l'essentiel de la biomasse organique (Tu *et al.*, 2006) et qu'il est nécessaire de connaître *via* des observations et la constitution de banque de graines (Combroux *et al.*, 2002)

Enfin, pour assurer une transposition des résultats obtenus, nous développons une modélisation couplant les processus physiques et biologiques dont la détermination des paramètres nécessaires est permise grâce aux expériences menées en mésocosmes contrôlés sur les sites expérimentaux et de démonstration (tableau 1). La modélisation couplée aux approches expérimentales doit également permettre d'optimiser le fonctionnement biologique et hydraulique du système en définissant :

- les temps de séjour de l'eau transitant dans les zones humides artificielles (ZHA) et les temps de contact eau/sédiments,
- la circulation de l'eau au sein des ZHA,
- la gestion des sédiments accumulés et des macrophytes présents,
- le stockage par adsorption des polluants dans les ZHA avec recherche des adsorbants les plus performants qui pourront venir enrichir les sédiments déposés,

▲ Figure 1 – Interaction du quadruplet « eau-sédiment/sol-végétation-micro-organismes » au sein des zones humides artificielles (Grégoire, 2007).

3. Cuivre.

► Tableau 1 – Sites expérimentaux et de démonstration (mésocosmes contrôlés) engagés dans le projet ArtWET.

Type d'action	Description	Localisation	Partenaires (encadré 1)
Expérimentale	Fossé végétalisé en extérieur	Landau, Allemagne	UKL
Expérimentale	Fossé forestier reconstitué microcosme	Antony, France	Cemagref
Expérimentale	Lysimètres microcosme	Colmar, Strasbourg, France	UHA, ENGEES
Démonstration	Fossé végétalisé	Landau, Allemagne	UKL, IBD, VGLL
Démonstration	Zone de rétention	Landau, Allemagne	UKL, IBD, VGLL
Démonstration	Bioréacteur en laboratoire	Piacenza, Italie	UCSC

– la dégradation/extraction des polluants en associant les couples plantes-micro-organismes les mieux adaptés.

L'étude de l'impact sur la biodiversité accompagnera la démonstration de la capacité de ces zones à réduire les transferts de produits phytosanitaires vers l'aval. Cette nouvelle approche s'inscrit dans l'ingénierie écologique et inclut également les aspects et enjeux sociétaux, juridiques et économiques afin de proposer des pistes pour un cadrage social et politique de ce nouveau secteur d'activités, de l'amont (conception et mise en œuvre) à l'aval (gestion économique, politique, sociale et sociétale).

Les actions mises en œuvre sur le terrain

Le projet ArtWET s'appuie sur la construction et la mise en œuvre de sept prototypes de taille réelle, répartis sur le territoire européen (tableau 2) : un bassin d'orage considéré comme une zone humide artificielle à l'interface rural/urbain à

Rouffach (France), quatre zones de rétention en milieu agricole (France, Norvège, Pologne, Allemagne), une zone de rétention en forêt (France) et un bioréacteur en zone extérieure (Italie).

Rappelons que l'étude de ces prototypes est accompagnée par la mise en œuvre de sites expérimentaux et de démonstration mentionnés (tableau 1) autorisant la détermination des paramètres clés impliqués dans les processus de disparition des pesticides.

Exemple de prototype étudié : le bassin d'orage du Waldweg (Rouffach, France)

La zone humide artificielle étudiée ici est un bassin d'orage (photos 1 et 2) situé à l'interface rural viticole et urbain qui se couvre naturellement de végétation : *Phragmites Australis* sur plus de 98 % de sa superficie (photo 2). L'enjeu est d'adjoindre à sa fonction de protection hydraulique une nouvelle fonction biologique visant à diminuer la pollution due aux produits phytosanitaires y transitant lors d'épisodes ruisselant majeurs.

► Tableau 2 – Prototypes *in situ* étudiés dans le cadre du projet ArtWET.

Nature du prototype	Description	Localisation	Partenaires (encadré 1)
Experimental	Bioréacteur en extérieur	Piacenza, Italie	UCSC
Démonstration	Bassin d'orage entièrement endigué	Rouffach, France	ENGEES
Démonstration	Double zone humide artificielles (forestière et enherbée)	Tours, France	Cemagref
Démonstration	Parcelle en forêt	Tours, France	CA37
Experimental	Zones humides artificielles	Lier, Norvège	UKL
Experimental	Zones humides artificielles	Sczcecin, Pologne	UKL
Démonstration	Zone humide au sein d'une zone de rétention	Freiburg, Allemagne	UF



◀ Photos 1 et 2 –
Le bassin d'orage du
Waldweg, Rouffach,
France.

Les traitements phytosanitaires en viticulture conjugués aux flux de ruissellement et d'érosion lors d'épisodes pluvieux intenses, se traduisent régulièrement par l'entraînement de quantités non négligeables de résidus à l'exutoire des bassins versants, notamment des herbicides (glyphosate, diuron). De 2003 à 2007, il a été observé des concentrations en glyphosate pouvant atteindre 80 µg/L (Grégoire et Lange, 2007). À l'interface des systèmes et des zones urbaines, cette charge polluante transite par les bassins d'orage (BO) dont la vocation première est hydraulique (régulation des flux d'eau). Ces équipements stockent aussi une partie des pesticides par adsorption sur le sédiment accumulé au fil des épisodes érosifs. Un phénomène de bio-atténuation naturelle s'observe également en raison de la colonisation du sédiment par une microflore autochtone et de végétaux, essentiellement des macrophytes (Stottmeister *et al.*, 2003). La combinaison du stockage des polluants et de leur biodégradation/phyto-extraction peut se traduire par une réduction partielle ou totale de la charge polluante en sortie de bassin d'orage. Néanmoins, dans un certain nombre de cas, les temps de rétention des polluants n'excèdent pas quelques heures, ce qui est largement insuffisant pour entraîner la dégradation microbienne des herbicides et/ou l'accumulation par les plantes (Cheng *et al.*, 2002 ; Bouldin *et al.*, 2005). On observe également des phénomènes de désorption suite à des événements ruisselants succédant de peu les épandages (Braskerud et Haarstad, 2004) qu'il convient de supprimer dans un objectif d'optimisation des performances hydro-biochimiques de la zone humide artificielle.

En parallèle, le patrimoine des zones humides artificielles est recensé et une typologie est établie

afin de déterminer les potentialités de réduction de pollution diffuse sur le territoire alsacien (collaboration avec l'UMR GSP⁴ de l'École nationale du génie de l'eau et de l'environnement de Strasbourg).

Des résultats ont déjà été obtenus, tant sur la compréhension et la modélisation du fonctionnement hydraulique des bassins versant amont générant les flux d'eau (Domange, 2005 ; Madier, 2007) et de matière (molécules, particules) que sur la caractérisation et la modélisation des processus bio-chimique et physique ayant lieu au sein de la zone humide artificielle constituée par le bassin d'orage (Hunault, 2005).

Après la maîtrise de la dynamique hydraulique au sein de la zone humide (temps de séjour, circulation de l'eau, stockage des polluants par adsorption, gestion des sédiments accumulés), les recherches doivent se poursuivre par une modélisation couplée (transfert d'eau et des pesticides) bénéficiant des résultats acquis, dans un premier temps, en mésocosme sur la plateforme « agrosystèmes » située à Colmar, d'une part, et en laboratoire concernant le choix du couple micro-organisme/végétation le mieux adapté pour la dégradation/extraction des polluants, d'autre part.

Résultats et perspectives

Le projet ArtWET vise à mettre en évidence de nouvelles fonctionnalités d'ouvrages ou de zones déjà existantes au sein des agrosystèmes vis-à-vis de la réduction des transferts de produits phytosanitaires. Le faible coût de réalisation et de gestion de tels ouvrages ainsi que les gains

4. Unité mixte de recherche « Gestion des services publics ».

environnementaux induits autoriseront alors largement leur implantation au sein des territoires fragilisés et leur sélection par les membres de la communauté européenne devant respecter les normes européennes en matière de qualité des eaux.

Au-delà de la démonstration du procédé sur les prototypes *in situ*, cette adoption raisonnée sera permise par les résultats acquis concernant :

- un procédé par bio-augmentation couplé à la phyto-remédiation afin d'optimiser la dégradation des herbicides. Le procédé mis au point en laboratoire à partir d'une sélection de micro-organismes et de macrophytes (*Phragmites Australis*, *Tyfa Latifolia*, *Scirpus Lacustris*) sera testé dans un pilote (parcelles lysimétriques) comportant plusieurs casiers installés en extérieur et équipés pour la collecte des percolats ;
- une optimisation des temps de résidence au sein des zones humides artificielles par traçage et modélisation hydraulique ;
- un suivi de l'écotoxicité des percolats et des sédiments ainsi que des caractéristiques sensorielles de ces derniers au cours du procédé de dépollution ;
- une modélisation du procédé de traitement permettant de l'adapter ensuite à différents bassins d'orage ou zones humides artificielles ;
- une sensibilisation du monde agricole à l'agriculture durable, dans une logique de qualité environnementale et de qualité des produits.

Enfin, une approche spatiale (à l'échelle européenne) des gains environnementaux apportés par l'adoption de telles techniques sera menée pour évaluer les bénéfices attendus en matière d'amélioration de la qualité des eaux superficielles et souterraines.

La dissémination de la connaissance : une priorité du projet

La dissémination de la connaissance acquise est un objectif final prépondérant du projet. Celle-ci se fera à différents niveaux pour sensibiliser la chaîne des acteurs impliqués dans la gestion de l'environnement en général et des zones humides artificielles, en particulier. Tout d'abord, un site web en quatre langues (www.artwet.org) dédié à la communication grand public permettra la consultation en ligne de l'avancée du projet et

autorisera, par l'espace privé, l'échange de données entre partenaires. Les résultats seront également consultables *via* une base de données, sur le site web mentionné et *via* un système d'information géographique qui permettra de visualiser les zones sensibles au niveau européen sur lesquelles la mise en place de tels dispositifs pourra apporter un gain de qualité de la ressource en eau et des milieux aquatiques en général. L'organisation de rencontres, de la réunion en « bout de champ » aux colloques internationaux, la participation des agriculteurs, des autorités locales impliquées aux différents niveaux institutionnels tant en matière de gestion du territoire que de la ressource en eau, des industries agrochimiques et des professionnels rendront opérationnelle l'évaluation des possibilités d'adoption de ces techniques par les différents États membres.

La valorisation scientifique sera menée par l'ensemble des partenaires dans les différentes thématiques traitées et des guides professionnels (techniques et non techniques abordant les aspects socio-économiques et juridiques) seront édités.

Des nouvelles formations (en école d'ingénieurs, à l'université, en formation continue) seront proposées à plusieurs niveaux et dans les thématiques complémentaires de l'ingénierie écologique dédiée à la bioremédiation des produits phytosanitaires en zones humides artificielles.

Conclusion

Le projet ArtWET s'intéresse à deux thématiques dont la jointure est encore mal étudiée dans la communauté scientifique : les zones humides artificielles et la pollution diffuse d'origine agricole due aux pesticides. Cette approche permettra l'évaluation des performances de ces systèmes vis-à-vis de la réduction des transferts de produits phytosanitaires, du maintien de la biodiversité aquatique et de l'acceptabilité de tels dispositifs auprès des différents acteurs impliqués. Il s'agit d'insérer dans l'ingénierie écologique pratique les avancées les plus récentes de la recherche en écologie, en hydrologie, en microbiologie, en science du sol, etc., afin d'évoluer vers une ingénierie ancrée dans la théorie. Les orientations de la recherche proposée se posent en réponse aux verrous identifiés dans le cadre d'une gestion plurifonctionnelle transposable à d'autres milieux similaires. Ce projet repose sur une organisation et un travail en synergie impliquant

une communauté scientifique pluridisciplinaire dont les outils, les méthodes et les dynamiques spatio-temporelles des processus étudiés sont très divers, mais fondamentalement complémentaires si l'on veut assurer un environnement durable, résoudre des problèmes de pollution, rétablir ou maximiser un service écosystémique. □

Remerciements

Nous tenons à adresser nos remerciements à la commune de Rouffach (Alsace, France) pour sa confiance et son soutien, ainsi qu'à la commission européenne, la région Alsace, le conseil général du Bas-Rhin, BASF et l'agence de l'eau Loire-Bretagne qui financent ce projet.

Résumé

Le traitement de la pollution diffuse issue des agrosystèmes est un enjeu majeur dans les perspectives environnementales d'absence de dégradation complémentaire de la qualité des eaux, tant superficielles que souterraines, exposées dans la Directive cadre européenne (2000/60/EC). Le projet interdisciplinaire ArtWET s'intéresse au potentiel de remédiation offert par les zones humides et propose une approche intégrative, du laboratoire au prototype *in situ*, prenant en compte les interactions des processus biologiques et physiques au sein de systèmes artificiels et optimisés. Les résultats attendus et la diffusion des connaissances doivent aboutir à l'adoption de tels dispositifs conçus et gérés à faibles coûts sur l'ensemble du territoire européen.

Abstract

The mitigation of the nonpoint source pollution resulting from the agrosystèmes is a major stake from the environmental point of view according the water quality conservation exposed in the European directive (2000/60/EC). The interdisciplinary project ArtWET deals with the potential remediation offered by the wetlands and proposes a global approach, from laboratory to the *in situ*-prototype, taking into account the interactions of the biological and physical processes within artificial and optimized systems. The expected results and the dissemination of knowledge must lead to the adoption of such low cost devices on the whole European territory.

Bibliographie

- ARBELI, Z., FUENTES, C.-L., 2007, *Accelerated biodegradation of pesticides : An overview of the phenomenon, its basis and possible solutions ; and a discussion on the tropical dimension*. *Crop Protection*, sous presse, Corrected Proof, Available online 9 May 2007.
- BENDING, G.-D., RODRIGUEZ-CRUZ, M.-S., 2007, Microbial aspects of the interaction between soil depth and biodegradation of the herbicide isoproturon, *Chemosphere*, vol. 66, Issue 4, p. 664-671.
- BOULDIN, J.-L., FARRIS, J.-L., MOORE, M.-T., SMITH, J.-S., COOPER, C.-M., 2006, Hydroponic uptake of atrazine and lambda-cyhalothrin in *Juncus effusus* and *Ludwigia peploides*, *Chemosphere*, vol. 65, p. 1049-1057.
- BRASKERUD, B.-C., HAARSTAD, K., 2003, Screening the retention of thirteen pesticides in a small constructed wetland, *Water Science & Technology*, vol. 48, p. 67-274.
- BLUM, J., 2007, *Établissement d'un bilan hydro-bio-chimique vis-à-vis du traitement du glyphosate et du diuron par une zone humide artificielles : mise en évidence de nouvelles fonctionnalités*, mémoire de fin d'étude, ENGEEES, Strasbourg, 96 p.
- BRASKERUD, B.-C., 2002, Factors affecting phosphorus retention in small constructed wetlands treating agricultural non-point source pollution, *Ecological Engineering*, vol. 19, Issue 1, p. 41-61.
- CHENG, S., VIDA KOVIC-CIFREK, Z., GROSSE, W., KARRENBROCK, F., 2002, Xenobiotics removal from polluted water by a multifunctional constructed wetland, *Chemosphere*, vol. 48, p. 415-418.
- COMBROUX, I., BORNETTE, G., AMOROS, C., 2002, Plant regenerative strategies after a major disturbance : the case of a riverine wetland restoration, *Wetlands*, vol. 2, n° 2, p. 234-246.
- DABROWSKI, J.-M., BENNETT, E.-R., BOLLEN, A., SCHULZ, R., 2006, Mitigation of azinphos-methyl in a vegetated stream : Comparison of runoff- and spray-drift, *Chemosphere*, vol. 62, Issue 2, p. 204-212.
- DOMANGE, N., 2005, *Étude des transferts de produits phytosanitaires à l'échelle de la parcelle et du bassin versant viticole (Rouffach, Haut-Rhin)*, thèse de doctorat, spécialités hydrochimie, ULP Strasbourg, 270 p. + annexes.
- DRIZO, A., FROST, C.-A., GRACE, J., SMITH, K.-A., 2000, Phosphate and ammonium distribution in a pilot-scale constructed wetland with horizontal subsurface flow using shale as a substrate, *Water Research*, vol. 34, Issue 9, p. 2483-2490.
- DUNNE, E.-J., SMITH, J., PERKINS, D.-B., CLARK, M.-W., JAWITZ, J.-W., REDDY, K.-R., 2007, Phosphorus storages in historically isolated wetland ecosystems and surrounding pasture uplands, *Ecological Engineering*, vol. 31, Issue 1, 3, p. 16-28.
- FIENER, P., AUERSWALD, K., WEIGAND, S., 2005, Managing erosion and water quality in agricultural watersheds by small detention ponds, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 110, Issues 3-4, p. 132-142.
- GRÉGOIRE, C., BLOTTIÈRE, C., BARBIER, R., 2007, *Typologie des bassins d'orage pour une nouvelle fonctionnalité biologique. L'eau, l'Industrie Les nuisances*, sous presse.
- GRÉGOIRE, C., 2006, *Caractérisation et modélisation des processus de transfert de pollution diffuses au sein de bassins versants viticoles avec prise en compte de l'hétérogénéité spatio-temporelle des systèmes étudiés*, habilitation à diriger des recherches, ULP Strasbourg, Géosciences, discipline : sciences de l'univers, code 933 0905, 82 p. + annexes.
- GRÉGOIRE, C., LANG, J., 2007, Exploitation (and limits) of the concept of symmetry for the quantification of the pesticides transfer in the Bade and Alsatian vineyards, *Revue Géographique de l'Est*, à paraître.
- HARES R.-J., WARD, N.-I., 1999, Comparison of the heavy metal content of motorway stormwater following discharge into wet biofiltration and dry detention ponds along the London Orbital (M25) motorway, *The Science of The Total Environment*, vol. 235, Issues 1-3, 1, p. 169-178.
- HARES, R.-J., WARD, N.-I., 2004, Sediment accumulation in newly constructed vegetative treatment facilities along a new major road, *Science of The Total Environment*, vol. 334-335, p. 473-479.

- HUNAU, M., 2005, *Influence des bassins d'orage sur le transfert de pesticides et possibilité de traitement : cas du bassin d'orage de Rouffach*, Mémoire de DEA, ULP Strasbourg, Systèmes Spatiaux et Environnement, ENGEES, 90 p.
- IWA, 2007, *Constructed Wetlands for pollution control : processes, performance, design and operation*, 156 p.
- KIECKBUSCH, J.-J., SCHRAUTZER, J., 2007, Nitrogen and phosphorus dynamics of a re-wetted shallow-flooded peatland, *Science of The Total Environment*, vol. 380, Issues 1-3, p. 3-12.
- KOHLER, E.-A., POOLE, V.-L., REICHER, Z.-J., TURCO, R.-F., 2004, Nutrient, metal, and pesticide removal during storm and nonstorm events by a constructed wetland on an urban golf course, *Ecological Engineering*, vol. 23, Issues 4-5, 30, p. 285-298.
- LACAS, J.-G., VOLTZ, M., GOUY, V., CARLER, N., GRIL, J.-J., 2005, Using grassed strips to limit pesticide transfer to surface water : a review, *Agronomy for sustainable development*, vol. 25, p. 253-266.
- LANDRY, D., DOUSSET, S., FOURNIER, J.-C., ANDREUX, F., 2005, Leaching of glyphosate and AMPA under two soil management practices in Burgundy vineyards (Vosne-Romanée, 21-France), *Environmental Pollution*, vol. 138, Issue 2, p. 191-200.
- LECOMTE, V., 1999, *Transferts de produits phytosanitaires par ruissellement et érosion de la parcelle au bassin versant*, Thèse de doctorat, ENGREF, Paris, 212 p.
- LOUCHART, X., VOLTZ, M., COULOUMA, G., ANDRIEUX, P., 2004, Oryzalin fate and transport in runoff water in Mediterranean vineyards, *Chemosphere*, vol. 57, Issue 8, p. 921-930.
- MITSCH, W.-J., GOSSELINK, J.-G., 2007, *Wetlands*, 4^e édition, Ed. John Wiley et sons, 582 p.
- MOORE, M.-T., BENNETT, E., COOPER, C.-M., SMITH, S., FARRIS, J.-L., DROUILLARD, K.-G., SCHULZ, R., 2006, Influence of vegetation in mitigation of methyl parathion runoff, *Environmental Pollution*, vol. 142, Issue 2, p. 288-294.
- NG, H.-Y.-F., GAYNOR, J.-D., TAN, C.-S., DRURY, C.-F., 1995, Dissipation and loss of atrazine and metolachlor in surface and subsurface drain water : a case study, *Water research*, vol. 10, p. 2309-2317.
- NIEMINEN, T., UKONMAANAHO, L., SHOTYK, W., 2002, Enrichment of Cu, Ni, Zn, Pb and As in an ombrotrophic peat bog near a Cu-Ni smelter in southwest Finland, *Sci Total Environ*, vol. 292, p. 81-89.
- REICHENBERGER, S., BACH, M., SKITSCHAK, A., FREDE, H.-G., 2007, Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground- and surface water and their effectiveness ; A review, *Science of The Total Environment*, vol. 384, Issues 1-3, p. 1-35.
- REILLY, J.-F., HORNE, A.-J., MILLER, C.-D., 2000, Nitrate removal from a drinking water supply with large free-surface constructed wetlands prior to groundwater recharge, *Ecological Engineering*, vol. 14, Issues 1-2, p. 33-47.
- ROUSSEAU, D.-P.-L., VANROLLEGHEM, P.-A., DE PAUW, N., 2004, Model-based design of horizontal subsurface flow constructed treatment wetlands : a review, *Water Research*, vol. 38, Issue 6, p. 1484-1493.
- SCHOLZ, M., 2004, Treatment of a gully pot effluent containing Nickel and Copper with constructed wetland in a cold climate, *J. Chem. Technol. Biot.*, vol. 79, Issue 2, p. 153-162.
- STOTTMEISTER, U., WIEßNER, A., KUSCHK, P., KAPPELMEYER, U., KÄSTNER, M., BEDERSKI, O., MÜLLER, R.-A., MOORMANN, H., 2003, Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment, *Biotechnology Advances*, vol. 22, Issues 1-2, p. 93-117.
- TU, C., RISTAINO, J.-B., HU, S., 2006, Soil microbial biomass and activity in organic tomato farming systems : Effects of organic inputs and straw mulching, *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 38, Issue 2, p. 247-255.
- WILLIAMS, J.-B., 2002, Phytoremediation in Wetland Ecosystems : Progress, Problems, and Potential, *Critical Reviews in Plant Sciences*, vol. 21, Issue 6, p. 607-635.