

# Projet d'étude de la contamination par les pesticides d'eaux de rivières et de nappes au niveau du bassin versant de l'Orgeval

H. Blanchoud<sup>1\*</sup>, E. Barriusio<sup>2</sup>, J. Tournebize<sup>3</sup>, C. Schott<sup>4</sup>, G. Talleg<sup>3</sup>, F. Habets<sup>5</sup>, A. Laverman<sup>5</sup>

<sup>1</sup>EPHE, UMR Sisyphe, UPMC 4, place Jussieu 75252 Paris cedex 5.

<sup>2</sup>UMR EGC INRA AgroParisTech, F78850 Thiverval-Grignon

<sup>3</sup>CEMAGREF, Parc de Tourvoie, BP44, 92163 Antony Cedex

<sup>4</sup>INRA SAD, Domaine du Joly, 662, avenue Louis Buffet, 88500 Mirecourt

<sup>5</sup>CNRS, UMR Sisyphe, UPMC 4 place Jussieu 75252 Paris cedex 5.

\*[helene.blanchoud@upmc.fr](mailto:helene.blanchoud@upmc.fr)

Ceci n'est pas un rapport montrant des résultats du PIREN Seine, mais plutôt une note de synthèse sur les travaux engagés cette année dans le cadre du programme Phyt'Oracle financé par le CNRS. Ce programme a débuté en 2008 par l'équipement des sites et sera mené en relation avec le PIREN Seine afin de mutualiser les données recueillies.

## 1 Contexte du projet

La Directive Cadre sur l'Eau suppose la mise en œuvre par les pays membres de l'union européenne de la préservation ou la restauration d'une eau de « bonne qualité » pour les grandes masses d'eau. Cependant, les études réalisées sur le transfert des pesticides restent encore insuffisantes pour évaluer la vulnérabilité des eaux de surface et souterraines.

En Seine et Marne, le drainage est particulièrement intense et entraîne des modifications importantes dans le fonctionnement hydrologique des bassins versants. Or, les enjeux que présentent la contamination des eaux de surface et souterraines par les pesticides est double. D'une part, la trop forte teneur en pesticides entraîne l'arrêt de nombreux points de captage ne répondant pas aux normes de potabilisation. D'autre part, le Grand Morin, considéré comme une des sources majeures de pesticides de la Marne, se trouve à l'amont de la station de traitement de Neuilly sur Marne qui alimente en eau potable environ un tiers de la région parisienne. Ceci explique l'intérêt de mieux comprendre le transfert des pesticides au niveau de ces bassins afin d'améliorer la qualité de l'eau et la prévision et la prévention des risques liés aux événements hydrologiques extrêmes.

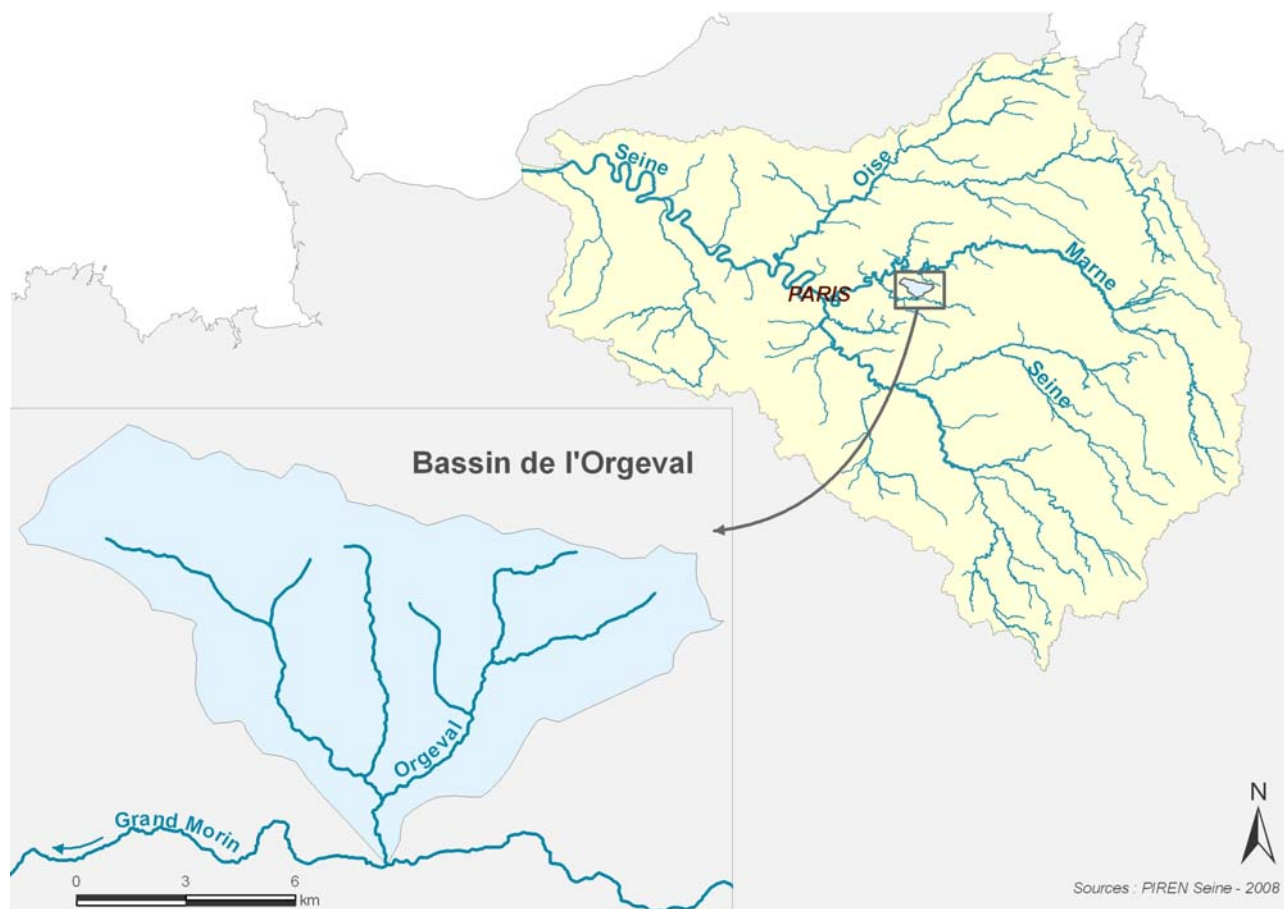
L'objectif général est de comprendre les transferts verticaux et horizontaux sol-nappe-rivière des pesticides à l'échelle de deux versants, identifier les sources de variabilité spatiale de leur dynamique dans les sols. Ces informations seront intégrées dans un modèle couplé développé pour simuler le transfert des pesticides dans la zone non saturée jusqu'à la nappe.

Cette étude nous permettra de caractériser et hiérarchiser les paramètres à prendre en compte pour appréhender le transfert sol-nappe-rivière des pesticides, de cibler ceux qui engendrent une contamination à long terme de la nappe (rétention, absence de dégradation) et dans le cas de la dégradation, de quantifier le potentiel de bio-dégradation des pesticides dans le sol et le sous-sol en fonction de l'adaptabilité des communautés bactériennes. En effet, les études actuelles concernent principalement le comportement des pesticides dans le sol de surface, par l'étude de l'influence de la composition des sols sur la rétention des pesticides. Il est généralement admis que la dégradation est essentiellement d'origine biotique et que les composés sont considérés comme conservatifs dans le sous-sol par extrapolation des résultats de dégradation chimique à la surface.

Un objectif spécifique est de connaître le temps de réponse des systèmes hydrologiques à des contaminations à la surface des sols, tant pour la prévision de contaminations actuelles que pour la caractérisation du temps de résilience de contaminations anciennes (par exemple, pesticides qui ne sont plus utilisés, comme l'atrazine). Cela est en relation directe avec la question générale de l'origine de l'eau arrivant à la rivière et des mécanismes d'acquisition de leur charge polluante. Il est nécessaire pour y répondre de connaître les

circulations de l'eau, mais aussi la biogéochimie du pesticide en fonction des interactions avec les constituants du sol et du sous-sol et de l'environnement physique et biologique au cours de son transfert.

## 2 Caractéristiques du bassin versant



*Figure 1: situation géographique du bassin versant*

L'Orgeval, sous-bassin versant de la Marne, affluent du Grand Morin, est situé sur le plateau de la Brie à une soixantaine de km à l'est de Paris (Figure 1). Sa superficie est de 104 km<sup>2</sup> et son débit spécifique est de l'ordre de 5 l/s/km<sup>2</sup>. Ce bassin versant représentatif et expérimental comprend quatre sous bassins : sous bassins de Mélarchez, de la Gouge, des Avenelles et du Theil.

Son sous-sol est de type sédimentaire daté du tertiaire (oligocène et éocène). Son sol est de type brun lessivé à texture limono-argileuse et présente des caractéristiques d'hydromorphie temporaire car il est soumis à des nappes perchées superficielles. L'aquifère permanente dans la formation de Brie (Figure 2) et les sables de Fontainebleau ainsi que la présence de niveaux plus imperméables dans les limons entraînent la formation de nappes superficielles.

Dans la région de grande culture de la Brie, le recourt au drainage agricole pour désengorger les parcelles et travaux d'assainissement a augmenté la capacité de transfert du réseau hydrographique et a entraîné une modification du rapport entre l'infiltration et le ruissellement. on distingue des transferts d'eau rapides (horizontaux) impliquant le drainage artificiel très largement implanté (80% de la SAU) et des transferts d'eau plus lents correspondant à une infiltration profonde (transferts verticaux), qui alimentent deux principales nappes (nappes de Brie et de Champigny, Figure 2). A mesure que les cours d'eau incisent les plateaux sédimentaires, ces nappes participent à leur alimentation. Deux questions restent non résolues à ce jour 1) quelle est la contribution des nappes aux flux globaux de pesticides à l'exutoire de bassins versants? 2) comment se produisent les processus de transferts verticaux des pesticides vers les nappes ?

L'usage des pesticides est fortement lié à l'occupation du sol. En 1999, elle était essentiellement constituée de cultures (81%) : céréales (blé, escourgeon, orge, maïs), colza, lin, féveroles, pois, luzerne ; de

bois et forêts (18%) et de zones urbaines et routes (1%). La saison de drainage intense (hiver et début printemps) est une phase importante pour le transfert des polluants. En 1999, le suivi du ru de Choqueuse dans le programme PIREN Seine avait montré que plus de 90% du flux annuel d'atrazine pouvait être exporté lors du premier événement pluvieux qui suit les traitements phytosanitaires (Guivarc'h-Blanchoud, 2001).

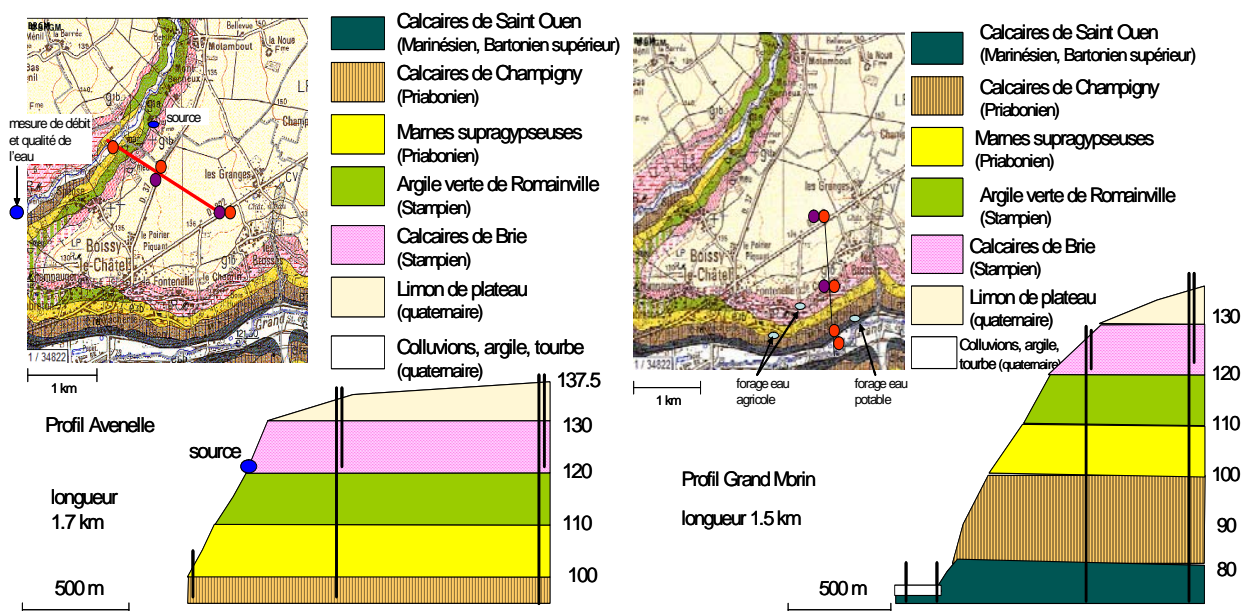


Figure 2: schéma des coupes géologiques sur les 2 transects piézométriques

### 3 Etudes menées sur le bassin versant

#### 3.1 Suivi hydrologique et de la contamination des eaux par les pesticides in situ

Malgré les données acquises sur ce bassin versant, des questions perdurent sur le bilan hydrique et sur la contribution quantitative à l'alimentation de la nappe et de la rivière. Les piézomètres installés sur un double versant, perpendiculairement à la rivière, permettront d'affiner ces bilans et quantifier l'importance relative des différentes voies de transport. La mesure des niveaux piézométriques et les prélèvements seront effectués mensuellement par le Cemagref qui possède une antenne sur place. Le suivi sera orienté sur les phénylurées (isoproturon, diuron, chlortoluron), pesticides fréquemment employés sur le bassin versant et les triazines (atrazine, simazine, terbuthylazine et leurs produits de dégradation), récemment interdites mais toujours détectées dans la nappe et les eaux de surface. En fonction des résultats d'enquête sur les pratiques phytosanitaires du bassin, d'autres molécules pourront également être recherchées (métolachlore, Ethofumésate, carbendazime notamment). Une étude des pratiques phytosanitaires actuelles et passées sur le bassin pourra compléter cette étude afin d'apprécier les temps de réponse des pratiques agricoles sur la contamination et avoir une estimation des apports au bassin versant.

#### 3.2 Etudes des sols et du sous sol

Une collection d'échantillons de sols des horizons superficiels caractéristiques du bassin versant sera constituée. Le plan d'échantillonnage se fera sur la base des données pédologiques existantes sur la répartition des sols du bassin versant. Les sols seront caractérisés par l'analyse de leurs propriétés pédologiques et par des données renseignant leur localisation dans le bassin, leur occupation et l'historique culturelle.

En complément, un échantillonnage a été réalisé lors du forage pour la réalisation des piézomètres (Figure

3). Des carottes de sols ont été extraites à différentes profondeurs, au niveau des couches.



*Figure 3: photo des carottes prélevées lors le l'installation d'un piézomètre*

### **3.3 Caractérisation des sols et leur comportement vis-à-vis des pesticides en conditions expérimentales**

Les sols prélevés seront analysés rapidement pour caractériser leur contamination par des pesticides. Des analyses classiques seront réalisées pour une caractérisation de leurs constituants minéraux et organiques,. Une quantification de la biomasse microbienne totale sera réalisée.

Une sélection d'échantillon de sols sera utilisée pour évaluer leur comportement vis-à-vis des pesticides : les pesticides choisis sont l'isoproturon car très employée dans la région et l'atrazine car toujours présente dans les nappes. En fonction des résultats de monitoring (utilisation dans le bassin versant, présence dans les eaux analysées et des propriétés physico-chimiques et biologiques : hydrophobicité, capacité de dissociation, biodégradabilité intrinsèque) d'autres molécules pourront être testées : terbuthylazine, métolachlor..., La rétention sera caractérisée par la méthode standard OCDE 107 permettant l'obtention des coefficients d'adsorption et de désorption ( $K_d$ ,  $K_{oc}$ ). Les vitesses de dégradation des pesticides seront définies par incubation au laboratoire en conditions expérimentales contrôlées. Ces incubations permettront par ailleurs l'obtention d'informations sur les voies de dégradation des pesticides, avec l'élaboration de bilans globaux des résidus des pesticides dans les sols. L'ensemble des expérimentations de laboratoire se feront avec des pesticides radioisotopiquement marqués avec du  $^{14}C$ .

Des essais de dégradation seront également réalisés après plusieurs traitements successifs avec un même pesticide afin de voir si la cinétique évolue, montrant ainsi une adaptation microbienne à la dégradation des pesticides Cette approche permettra de connaître la variabilité horizontale, verticale et temporelle des

propriétés d'un même pesticide sur une zone d'étude restreinte, et ainsi d'identifier les facteurs pédologiques et/ou agronomiques qui influencent le transport des pesticides vers les eaux souterraines.

### **3.4 Détermination du taux de dégradation microbienne et des communautés bactériennes impliquées dans le sol**

Pour déterminer la dégradation microbienne des pesticides (atrazine et isoproturon) dans les sols nous utiliserons une approche expérimentale en réacteur en flux continu (Laverman et al, 2006). Les réacteurs sont alimentés avec une solution à base de pesticides en flux continu et la dégradation des molécules est suivie au cours du temps. Un sol ayant été irradié aux rayons gamma est utilisé comme un témoin (contrôle non biologique). Cette expérimentation sera réalisée avec des sols de différentes profondeurs afin de déterminer les variations verticales du taux de dégradation. Les sols des réacteurs seront analysés en fin d'expérience afin de mesurer les variables clés nécessaires à l'interprétation quantitative et qualitative des expériences : porosité, concentration et qualité de la matière organique. Les communautés bactériennes seront caractérisées dans le sol initial et après l'expérimentation.

Les communautés bactériennes présentes dans les sols naturels seront caractérisées par les techniques moléculaires basées sur des ADN issus de l'échantillon total. La diversité des bactéries seront déterminés en utilisant le gène 16s en combinaison avec la PCR (Polymerase Chain Reaction in realtime) et la DGGE (Denaturing Gel Gradient Electrophoresis).

Il ne s'agira pas d'identifier toutes les communautés bactériennes présentes dans les échantillons mais de pouvoir évaluer les changements dans ces communautés dus aux traitements phytosanitaires et de savoir si tous les sols possèdent la même potentialité d'adaptation à la dégradation des pesticides.

La comparaison des communautés bactériennes dans les échantillons naturels de sol avec celles présentes dans les sols après traitements en réacteurs nous indiquera la nature de l'adaptation (sélection de certaines souches, diminution/augmentation des quantités microbiennes...) ainsi que leur efficacité de dégradation des pesticides par comparaison avec les cinétiques de dégradation.

## **4 Conclusion et perspectives pour le PIREN Seine**

Cette étude permettra d'acquérir des données dans un continuum sol- sous-sol, jusqu'à la rivière. L'identification des lois de pédotransfert applicables à des paramètres sera possible en décrivant la rétention et la dégradation de pesticides et en intégrant l'hétérogénéité horizontale et verticale à grande profondeur. Le modèle couplé STICS-Phytos – MODCOU nécessitera d'être validé et pour cela, les données doivent être regroupées sur un même site afin d'intégrer au mieux ces lois de pédotransfert. La spatialisation tant verticale qu'horizontale et l'évolution dans le temps de ce transfert servira à l'estimation des temps de réponse des aquifères à une action potentiellement contaminante (application agricole de pesticides) et définir les surfaces - parcelles contributives, en les classant selon leur contribution à la contamination totale. Il sera ainsi possible d'évaluer la vulnérabilité de l'aquifère et de proposer des mesures préventives ou correctives pour lutter contre la contamination par les pesticides.

Très peu d'études concernent le transfert des pesticides dans le système sol-nappe-rivière. Les forages pour l'installation de piézomètres sont une opportunité pour l'étude couplée des lois de pédotransfert par la capacité de dégradation et de sorption des pesticides à des échelles spatiale (horizontale et verticale) et temporelle (l'évolution des communautés bactériennes dans le sol). La modélisation de ce système permettra de réaliser des simulations prospectives de changements de pratiques phytosanitaires et évaluer la vulnérabilité de la ressource en eau.

## **5 Références bibliographiques**

Garmouma M. Transfert d'herbicides (triazines et phénylurées) et de produits de dégradation dans le bassin versant de la Marne. *Thèse de doctorat de l'Université de Paris VI*, 1996, 217 p.

Guivarc'h Blanchoud. Apports et transfert de pesticides en milieu agricole et urbain sur le bassin versant de la Marne : vers une évaluation globale. *Thèse de doctorat de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées*, 2001, 193 p.